Environment Canada
Canadian Forestry Service

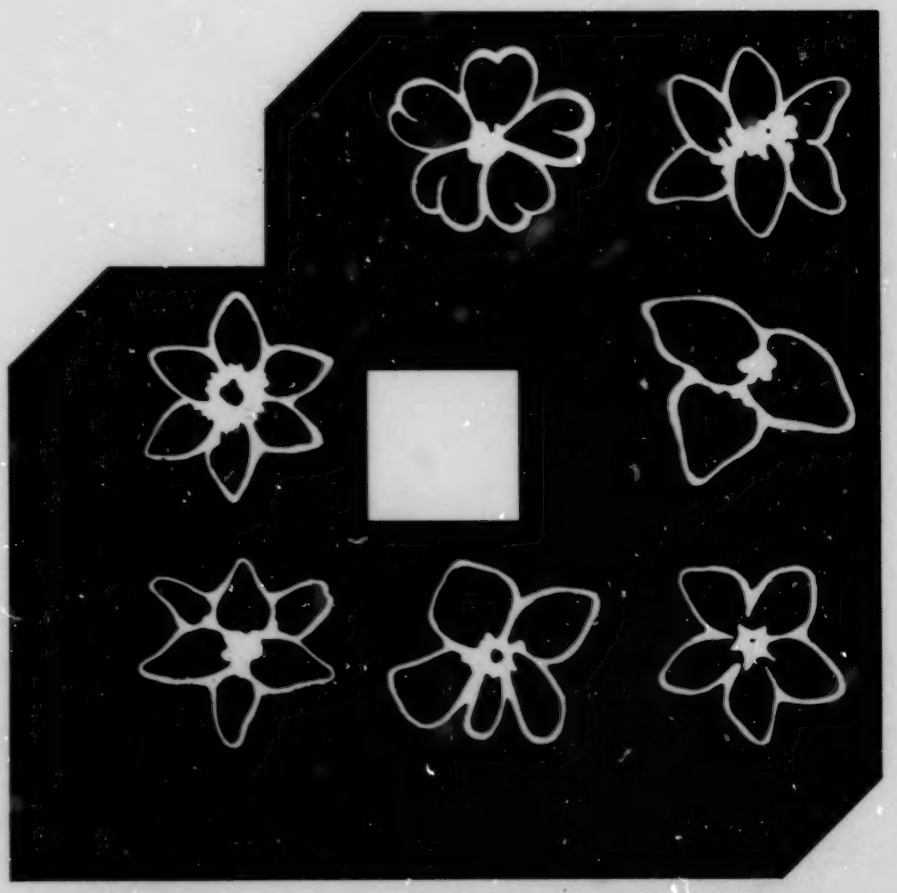
Environnement Canada
Service canadien des forêts

Interprovincial Forest Fertilization Program

H. H. Krause, G. F. Weetman,
E. Koller and J.-M. Veilleux

DPC-X-12

Results of five-year growth remeasurements



Canada

84-4153/

The Canadian Forestry Service
Environment Canada

The Canadian Forestry Service is the principal source of federal expertise in forestry. Its general objective is to promote the wise management and use of Canada's forest resources for the economic, social, and environmental benefit of Canadians.

The following are the main functions of the CFS:

1. Coordination of federal policies, for the promotion of better resource management and forest industry development.
2. Provision of scientific and technological leadership in forestry through research and development.
3. Provision and analysis of national and international statistics and information as a basis for policy formulation.
4. Development and certification of codes and standards for wood product performance.
5. Protection of Canada's forests from foreign pests.
6. Fostering the potential use of the forest resource for energy.
7. Contributing to the environmental objectives of the Department of the Environment.

A number of federal agencies are involved in forestry programs and a Federal Forestry Sector Strategy Committee has been established to coordinate federal forestry activities. The Canadian Forestry Service has been designated the lead agency role.

The Canadian Forestry Service is comprised of a Headquarters Unit, six Forest Research Centres and two National Institutes. The Forest Research Centres are responsive to regional priorities and maintain close liaison with the respective provincial government forestry departments and other clients. They also participate in, and frequently lead, national programs. The National Institutes provide the focus for programs of national scope.

Interprovincial Forest Fertilization Program

Results of five year growth remeasurements

by

H.R. Krause, G.F. Weetman,
E. Koller and J.M. Veilleux

Information Report DPC-X-12
Canadian Forestry Service
Environment Canada

1985

Faculty of Forestry, University of British Columbia
Faculty of Forestry, University of Toronto
Pulp and Paper Research Institute of Canada
Canadian Forestry Service

© Minister of Supply and Services Canada 1982

Catalogue No. Fo 46-13/12 1982

ISBN 0-662-52018-1
ISSN 0705-324X

Printed in Canada

Additional copies of this publication can be obtained from:
Environment Canada Distribution Centre
151 Jean Proulx Street,
Hull, Quebec
K1A 1C7

Abstract

The Interprovincial Forest Fertilization Program comprises 81 standardized experiments established by the provincial forest services of New Brunswick, Quebec, Ontario, Manitoba, and Alberta, and by the Canadian Forestry Service in the provinces of Nova Scotia and Saskatchewan. The experiments were designed to test the effect of nitrogen when applied as urea at the rates of 112 and 224 kg/ha, and the effects of combined nitrogen, phosphorus, and/or potassium additions on the growth of pole-size and semimature conifer stands. In the combination treatments, nitrogen was applied at the high rate, phosphorus as triple super phosphate at the rate of 112 kg/ha, and potassium as potassium chloride, also at the rate of 112 kg/ha.

Growth was significantly improved by fertilization in 23 of the 81 installations. Significant growth responses were most frequent in jack pine stands. Increases in the periodic increment of total stand volume varied between 4.2 and 19.9 m^3/ha or 24% and 111%. Maximum growth was frequently observed with the combined addition of nitrogen, phosphorus, and/or potassium, but the responses to these treatments did not differ significantly from the responses to nitrogen only treatments.

Responses to fertilizer treatments were less frequent in black spruce installations, and the size of response was lower than in most jack pine stands. In mixed stands, jack pine responded more strongly to fertilizer treatments than black spruce. Balsam fir and jack pine stands showed similar response patterns and ranges in total volume gain with fertilizer treatments.

Three white spruce stands in Alberta showed an average increase in the periodic increment of 12.1 m^3/ha or 35% with nitrogen application at the high rate, but no response was shown by the same species in the Maritime provinces. One of three red spruce stands showed moderate growth responses to the addition of nitrogen at the high rate and to the addition of combined nitrogen, phosphorus, and potassium. The largest gain in total volume, 37.3 m^3/ha or 111% of the periodic increment, was achieved by adding nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers to an aspen stand in Saskatchewan.

Although only nitrogen was shown to be effective by the interprovincial trials, most installations showed the highest growth rates with combinations of nitrogen, phosphorus, and/or potassium fertilizers. In some installations, growth was significantly improved with one or several of the combination treatments, but not with nitrogen alone.

Attempts to relate fertilization response to stand conditions and site factors have been generally unsuccessful. However, good correlation was shown for response and foliar nutrient levels in jack pine stands before treatment.

Economic treatises of response data from the interprovincial trials and independent experiments with jack pine have indicated that fertilizer use may be financially attractive under certain conditions. In most portions of central and eastern Canada, however, management-related problems may constrain fertilizer use.

Contents

Page

LIST OF TABLES VII
LIST OF FIGURES VIII
FOREWORD IX
COOPERATORS X
ACKNOWLEDGMENTS XI
INTRODUCTION 1
The Interprovincial Forest Fertilization Program 1
Overview of other Canadian studies 3
Operational forest fertilization in Canada 3
METHODS 4
RESULTS 6
Five-year growth and fertilization response 7
Jack pine 7
Black spruce 9
Jack pine – black spruce 11
White spruce 12
Red spruce 13
Balsam fir 14
Trembling aspen 14
Fertilizer treatments and tree mortality 15
Fertilizer treatments and ingrowth 15
Periodic increment and fertilization response as affected by stand condition 15
Periodic increment and fertilization response as affected by foliar nutrient levels 17
Site, periodic increments, and fertilization response 17
DISCUSSION 18
Response to nitrogen 18
Magnitude of response 18
Application rate 19
Nitrogen carriers 20
Inconclusive phosphorus and potassium effects 20
Fertilization efficiency 21
Response prediction 21
Economic considerations and implications of results to forest management 22
Deficiencies in the Interprovincial trials 22
SUMMARY AND CONCLUSIONS 23

TABLES 24

REFERENCES 37

APPENDIX I Forest cover and some site characteristics at experimental locations 39

APPENDIX II Five-year periodic growth and fertilization response in individual installations 41

APPENDIX III Statistical significance of fertilization effects on total volume increments in individual installations 49

APPENDIX IV Volume loss due to tree mortality and gain in merchantable volume due to ingrowth of small trees by installations and treatment 51

APPENDIX V Metric units and ratios, and their English equivalents 53

List of Tables

Table 1. Summary of installations by province, year, and species. 24

Table 2. Forest Sections, age, site index, and foliar nutrient concentrations of jack pine experimental stands. 25

Table 3. Initial total volume (TV) and 5-year increments in untreated and fertilized jack pine stands of the Algonquin-Pontiac, Saguenay, Laurentide-Onatchiway, and Northern Clay Forest Sections. . . . 26

Table 4. Initial total volume (TV) and 5-year increments in untreated and fertilized jack pine stands of the Missinaibi-Cabonga Forest Section. 27

Table 5. Initial total volume (TV) and 5-year increments in untreated and fertilized jack pine stands of the Upper English River and Mixedwood Forest Sections. 28

Table 6. Forest Sections, age, site index, and foliar nutrient concentrations of installations with black spruce and mixed jack pine and black spruce stands. (In the mixed stands foliar nutrient concentrations are given for black spruce.) 29

Table 7. Initial total volume (TV) and 5-year increments in untreated and fertilized black spruce stands of the Laurentide-Onatchiway and Northern Clay Forest Sections. 30

Table 8. Initial total volume (TV) and 5-year increments in untreated and fertilized black spruce stands of the Missinaibi-Cabonga and Mixedwood Forest Sections. 31

Table 9. Initial total volume (TV) and 5-year increments of installations with mixed stands of jack pine and black spruce. 32

Table 10. Relative total volume increments (5-year period) by species and treatments in mixed black spruce and jack pine stands. Averages from two installations (Manitoba 3 and Saskatchewan 1) with significant treatment effects. 32

Table 11. Forest Sections, age, site index, and foliar nutrient concentrations of white spruce, red spruce, balsam fir, and aspen installations. 33

Table 12. Initial total volume (TV) and 5-year increments in white and red spruce stands with and without fertilizer treatments. 34

Table 13. Initial total volume (TV) and 5-year increments in balsam fir stands and a trembling aspen stand with and without fertilizer treatments. 35

Table 14. Tree mortality and ingrowth of small diameter trees into the merchantable volume fraction during the first 5 years after treatments. 36

TABLES 24

REFERENCES 37

APPENDIX I Forest cover and some site characteristics at experimental locations 39

APPENDIX II Five-year periodic growth and fertilization response in individual installations 41

APPENDIX III Statistical significance of fertilization effects on total volume increments in individual installations 49

APPENDIX IV Volume loss due to tree mortality and gain in merchantable volume due to ingrowth of small trees by installations and treatment 51

APPENDIX V Metric units and ratios, and their English equivalents 53

List of Tables

Table 1. Summary of installations by province, year, and species. 24

Table 2. Forest Sections, age, site index, and foliar nutrient concentrations of jack pine experimental stands. 25

Table 3. Initial total volume (TV) and 5-year increments in untreated and fertilized jack pine stands of the Algonquin-Pontiac, Saguenay, Laurentide-Onatchiway, and Northern Clay Forest Sections. . . . 26

Table 4. Initial total volume (TV) and 5 year increments in untreated and fertilized jack pine stands of the Missinaibi-Cabonga Forest Section. 27

Table 5. Initial total volume (TV) and 5-year increments in untreated and fertilized jack pine stands of the Upper English River and Mixedwood Forest Sections. 28

Table 6. Forest Sections, age, site index, and foliar nutrient concentrations of installations with black spruce and mixed jack pine and black spruce stands. (In the mixed stands foliar nutrient concentrations are given for black spruce.) 29

Table 7. Initial total volume (TV) and 5-year increments in untreated and fertilized black spruce stands of the Laurentide-Onatchiway and Northern Clay Forest Sections. 30

Table 8. Initial total volume (TV) and 5-year increments in untreated and fertilized black spruce stands of the Missinaibi-Cabonga and Mixedwood Forest Sections. 31

Table 9. Initial total volume (TV) and 5-year increments of installations with mixed stands of jack pine and black spruce. 32

Table 10. Relative total volume increments (5-year period) by species and treatments in mixed black spruce and jack pine stands. Averages from two installations (Manitoba 3 and Saskatchewan 1) with significant treatment effects. 32

Table 11. Forest Sections, age, site index, and foliar nutrient concentrations of white spruce, red spruce, balsam fir, and aspen installations. 33

Table 12. Initial total volume (TV) and 5-year increments in white and red spruce stands with and without fertilizer treatments. 34

Table 13. Initial total volume (TV) and 5-year increments in balsam fir stands and a trembling aspen stand with and without fertilizer treatments. 35

Table 14. Tree mortality and ingrowth of small diameter trees into the merchantable volume fraction during the first 5 years after treatments. 36

List of Figures

1. Distribution of experimental areas. 2
2. Flow chart for the calculation of 5-year periodic growth and fertilization responses. 4
3. Total tree volume as a function of dbh (LVT). 5
4. Relative fertilization responses for jack pine installations in selected Forest Sections. 6
5. Relative fertilization responses for black spruce and black spruce-jack pine installations in selected Forest Section. 10
6. Relative fertilization responses for white spruce, balsam fir, and trembling aspen installations in selected Forest Sections. 13
7. Gross and net total volume increments by species and treatment during the first 5-year period following fertilizer application. 16
8. Amount of urea N required to produce one m^3 of wood (total volume) by Scots pine and Norway spruce as a function of application rate (redrawn from Johnsson 1977). 21

Foreword

The history, concept, design, and working arrangements for the Interprovincial Forest Fertilization Program were originally described in the Progress Report for 1969/72 (Canadian Forestry Service 1973).

The program schedule provided for the establishment of trials over a 5-year period beginning in 1969, followed by appropriately timed remeasurements to assess 5-and 10-year responses.

The cooperators, under the chairmanship of J.H. Cayford, decided that remeasurement data should be analyzed and the results reported year by year as they became available. Through contract arrangements provided by the Canadian Forestry Service, H.H. Krause, G.F. Weetman, and E. Koller were commissioned to analyze and interpret the 5-year remeasurement data collected in 1974, 1975, and 1976 and to prepare reports. These reports have been published by the Department of the Environment, Canadian Forestry Service, as Technical Reports Nos. 16 and 22, and as Information Report DPC-X-8.

At its annual meeting of 1978, the Technical Committee under the chairmanship of R.C. Dobbs, proposed that a comprehensive report be prepared by H.H. Krause, G.F. Weetman, E. Koller, and J.-M. Veilleux to consolidate the 5-year remeasurement data previously published and the unpublished remeasurement data from 1977. The authors were requested to submit a plan upon which a contract would be arranged on behalf of the Canadian Forestry Service and the University of New Brunswick. Under the terms of the contract, the authors presented the early results of their studies to the Technical Committee at its 1979 annual meeting, then submitted a manuscript that led to the publication of this report.

List of Figures

1. Distribution of experimental areas. 2
2. Flow chart for the calculation of 5-year periodic growth and fertilization responses. 4
3. Total tree volume as a function of dbh (LVT). 5
4. Relative fertilization responses for jack pine installations in selected Forest Sections. 6
5. Relative fertilization responses for black spruce and black spruce-jack pine installations in selected Forest Section. 10
6. Relative fertilization responses for white spruce, balsam fir, and trembling aspen installations in selected Forest Sections. 13
7. Gross and net total volume increments by species and treatment during the first 5-year period following fertilizer application. 16
8. Amount of urea N required to produce one m^3 of wood (total volume) by Scots pine and Norway spruce as a function of application rate (redrawn from Johnsson 1977). 21

Foreword

The history, concept, design, and working arrangements for the Interprovincial Forest Fertilization Program were originally described in the Progress Report for 1968/72 (Canadian Forestry Service 1973).

The program schedule provided for the establishment of trials over a 5-year period beginning in 1969, followed by appropriately timed remeasurements to assess 5-and 10-year responses.

The cooperators, under the chairmanship of J.H. Cayford, decided that remeasurement data should be analyzed and the results reported year by year as they became available. Through contract arrangements provided by the Canadian Forestry Service, H.H. Krause, G.F. Weetman, and E. Koller were commissioned to analyze and interpret the 5-year remeasurement data collected in 1974, 1975, and 1976 and to prepare reports. These reports have been published by the Department of the Environment, Canadian Forestry Service, as Technical Reports Nos. 16 and 22, and as Information Report DPC-X-8.

At its annual meeting of 1978, the Technical Committee under the chairmanship of R.C. Dobbs, proposed that a comprehensive report be prepared by H.H. Krause, G.F. Weetman, E. Koller, and J.-M. Veilleux to consolidate the 5-year remeasurement data previously published and the unpublished remeasurement data from 1977. The authors were requested to submit a plan upon which a contract would be arranged on behalf of the Canadian Forestry Service and the University of New Brunswick. Under the terms of the contract, the authors presented the early results of their studies to the Technical Committee at its 1979 annual meeting, then submitted a manuscript that led to the publication of this report.

Cooperators

Technical Committee

Alberta Energy and Natural Resources	M.M. Mihajlovich
Manitoba Department of Renewable Resources and Transportation Services	G. McColm
Ontario Ministry of Natural Resources	G. Kokocinski
Quebec Department of Energy and Resources	J.-M. Veilleux G. Sheedy
New Brunswick Department of Natural Resources	M.T. MacDonald
Nova Scotia Department of Lands and Forests	R.G. Robertson (Secretary)
Canadian Pulp and Paper Association	H.S.D. Swan
Pulp and Paper Research Institute of Canada	E. Koller
University of British Columbia	G.F. Weetman
University of New Brunswick	H.H. Krause
Canadian Forestry Service	R.C. Dobbs (Chairman)

Acknowledgments

This report results from cooperative action by the Pulp and Paper Research Institute of Canada, the provinces of Alberta, Saskatchewan, Manitoba, Ontario, Quebec, New Brunswick, and Nova Scotia, the University of New Brunswick, and the Canadian Forestry Service.

Special credit is due to Dr. H.S.D. Swan for his leading role in initiating the project and for his efforts in coordinating the early activities of the participating provinces. The project has also received a valuable contribution from Dr. G.L. Lowry. The authors are indebted to Drs. P.R. Barker, N.W. Foster, and P.J. Rennie for their critical and constructive reviews of the manuscript.

Introduction

The Interprovincial Forest Fertilization Program

The effects of fertilizers on forest growth in Canada have been studied since the 1950's. The early work was reviewed by Rennie (1972) and Armson et al. (1975). Information was still scarce at the end of the 1960's. However, some of the studies that had been conducted (Leech 1969; Weetman 1968), and the results of older studies in ecologically similar Scandinavian forests, indicated that many forest site types could yield economically attractive responses to nitrogen (N) fertilization. Chiefly, the need for supplementary N may be explained by the tendency of coniferous forests to form excessive raw humus in regions of low mean annual temperatures and moderately to strongly acid soils. Mineral cycling is slow in the presence of excessive raw humus, and a strong biological competition for N may develop (Krause et al. 1978; Rennie 1978).

To the present day, proven methods of soil and plant analysis do not exist to predict fertilization response in Canadian forests. As a result, because of the lack of these analytical tools, emphasis has had to be placed on empirical field testing to yield bench mark data for fertilization response in different forest cover types and growth regions of the country. These thoughts prevailed in the 1960's when plans for the interprovincial program were devised. In the meantime, the results of various independent Canadian studies have been published and significant changes have occurred in the relationship of wood demand and supply.

Over 90% of all commercial forest land in Canada is owned by the provinces. Therefore, a cooperative research program was proposed by the Pulp and Paper Research Institute of Canada (PPRIC) to the provinces in March, 1968. All provinces agreed to participate except Newfoundland, Prince Edward Island, and British Columbia. Soon after this the British Columbia Ministry of Forests began establishing its own series of fertilizer trials in coastal forests of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) and western hemlock (*Tsuga heterophylla* [Raf.] Sarg.) (Glew 1974).

The original proposal for the interprovincial studies called for 120 separate standardized trials on different sites and in different cover types. Eventually 81 trials were set up in stands of jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.), black spruce (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.), white spruce (*Picea glauca* [Moench] Voss), red spruce (*Picea rubens* Sarg.), balsam fir (*Abies balsamea* [L.] Mill), and trembling aspen (*Populus tremuloides* Michx.) from 1969 to 1972. A summary of trials by province, year of establishment, and species is given in Table 1, and the approximate locations of individual trials are indicated in Fig. 1.

According to the cooperative arrangement of the program, all work, including selection of experimental sites, plot establishment, fertilizer application, original stand measurements, and remeasurements, was to be carried out by the provincial forest management agencies or the regional laboratories of the Canadian Forest Service (CFS). Guidelines for all fieldwork were prepared by the Technical Committee, which was established in 1968. The data were processed at PPRIC under the direction of E. Koller. Foliar analyses were conducted in provincial laboratories in Quebec, Ontario, and Alberta, and at the University of New Brunswick. The CFS has provided chairmen for the Technical Committee and funding for the preparation and publication of reports. All expenses for fieldwork have been borne by the provinces except for Nova Scotia and Saskatchewan. In these two provinces, the experimentation was carried out by the CFS.

In the design of standardized experiments, it was assumed that in most instances, N would be a significant growth limiting factor, that phosphorus (P) and potassium (K) would be present in amounts sufficient for the suboptimal growth of N-deficient trees, but that positive interactions might result between N and P and between N and K under certain site and stand conditions.

Accordingly, these 6 treatments were tested:

1. C — Control
2. N — Nitrogen at 112 kg/ha
3. 2N — Nitrogen at 224 kg/ha
4. 2N + P — Nitrogen at 224 kg/ha
   — Phosphorus at 112 kg/ha
5. 2N + K — Nitrogen at 224 kg/ha
   — Potassium at 112 kg/ha
6. 2N + PK — Nitrogen at 224 kg/ha
   — Phosphorus at 112 kg/ha
   — Potassium at 112 kg/ha

The following fertilizers were used:

N — Urea — granular, standard size prills — 44% N
P — Triple superphosphate — 45% P_2O_5
K — Potassium chloride — 61% K_2O

The treatments were duplicated in two completely randomized blocks with circular plots. The size of plots to which fertilizers were applied varied from 0.02 to 0.09 ha depending on stand density. Trees were measured on concentrically located inner plots that varied in size from 0.01 to 0.04 ha. All living trees with a diameter at breast height (dbh)[1] of 6.35 cm were numbered. Tree species and diameters were recorded at the time of installation.

[1]Measured at 1.37 m (4.5 feet) above ground level

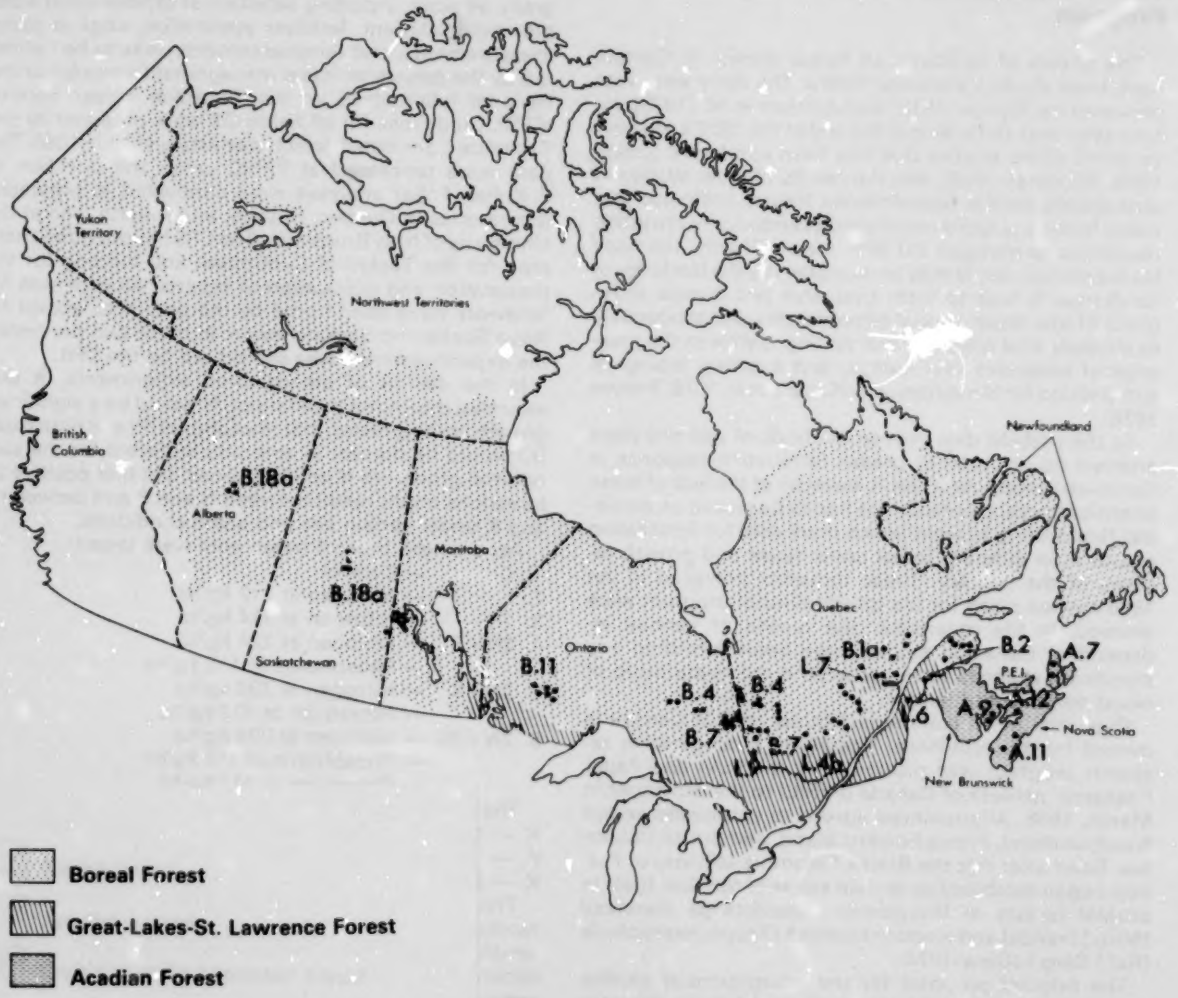


Figure 1. Distribution of experimental areas.

Overview of Other Canadian Studies

In the Atlantic Region, field trials testing the effects of N, P, and K have been performed in preharvest age stands of black spruce, balsam fir, and jack pine (Hoyt 1973; van Nostrand 1979; Krause 1981). These trials used simple factorial designs as did those for a balsam fir Christmas tree plantation (Timmer et al. 1977). These studies showed consistent responses to N; the effects of P and K additions were usually not statistically significant.

One of the earliest fertilization experiments, combined with stand thinning, was conducted with black spruce in Quebec (Weetman 1975). This study showed a strong positive interaction between N addition and thinning. Other fertilization trials have been carried out in Quebec with balsam fir (Gagnon et al. 1979; Brazeau 1979) and jack pine (Sheedy 1977; Camire 1980).

In northern Ontario, the Great Lakes Forest Research Centre has developed the Northern Ontario Pulpwood Fertilization Program comprising more than 500 permanent plots in jack pine and black spruce stands. Consistent responses of jack pine to N additions have been shown (Morrison et al. 1976*a*, 1976*b*).

Many studies have focussed on the fate of added fertilizers. Mahendrappa and Ogden (1973) and Bernier et al. (1972) attempted to quantify N losses by volatilization following the application of urea. Other studies have been concerned with the transformation of fertilizer N in soil, especially its immobilization and remineralization in the forest floor (Roberge and Knowles 1966; Mahendrappa 1978). In studies with jack pine in northern Ontario, an attempt was made to follow the mineral cycling of fertilizer N through the forest ecosystem (Foster and Morrison 1976; Morrison and Foster 1977). Of special interest with respect to N transformations and distribution in fertilized balsam fir and jack pine ecosystems are the recent doctoral dissertions of Brazeau (1979), Foster (1979), and Camire (1980).

The installation of "optimum nutrition trials" in jack pine and black spruce stands in eastern Canada (Weetman and Algar 1974) represented another approach to determine fertilization response and nutrient requirements for maximum growth. Fertilizers were added annually or as required to maintain preselected foliar nutrient levels. Combined with growth monitoring, this method can help to advance foliar analysis as a diagnostic tool in forest fertilization. Fertilizer application and foliage response have also received special attention in fertilization studies with balsam fir and red spruce (Timmer 1979).

The economics of fertilization in jack pine forests of northwestern Ontario and Quebec have been examined by Tucker (1974) and Nadeau (1977).

Operational Forest Fertilization in Canada

Recent studies of wood supply and demand on both a regional and national basis have identified current and future deficits (Reed 1979). These studies have also indicated that current efforts in forest management are insufficient to sustain present levels of utilization in many regions. Common reasons are imbalances in age-class distribution, declining yields of individual stands, often below the level of operability, and alienation of forest land from commercial use.

In contrast to other techniques of intensive forest management, fertilization can quickly produce increases in merchantable volume. Fertilization can be used by forest managers as an alternative to fill in deficient timber volumes in younger age classes or to provide additional volumes in near-mature stands. In Scandinavia, fertilizers have been used on a large scale to increase timber volumes in middle-aged stands of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). In British Columbia, where similar problems in age-class distribution exist, operational fertilization programs have been in existence for more than 10 years. Pacific Logging Co. Ltd. has fertilized more than 15 000 ha to date and the British Columbia Ministry of Forests treated 20 000 ha of Douglas-fir stands with urea in 1979. In the Pacific Northwest of the United States, larger programs have been underway for many years. Stands selected for treatment usually have low initial density or have had stocking control, and are grown chiefly for the production of valuable sawtimber.

There are presently no programs of operational forest fertilization in central and eastern Canada. Most likely reasons are that stands have little or no sawtimber value, have crown ownership with low royalty rates compared to market price stumpage values, and high density of unmanaged stands resulting in continued tree mortality. Additional constraints are spruce budworm (*Choristoneura fumiferana* [Clem]) epidemics and unsatisfactory owner-licensee contractual relationships over payment of silvicultural costs.

Operational trials with aerial application of N fertilizers were carried out in northern Ontario (Armson 1972) and in Quebec on balsam fir (Roberge and Gagnon 1974) and jack pine (Veilleux and Sheedy 1977). Other, but less well documented operational trials were conducted by industries in New Brunswick and Nova Scotia.

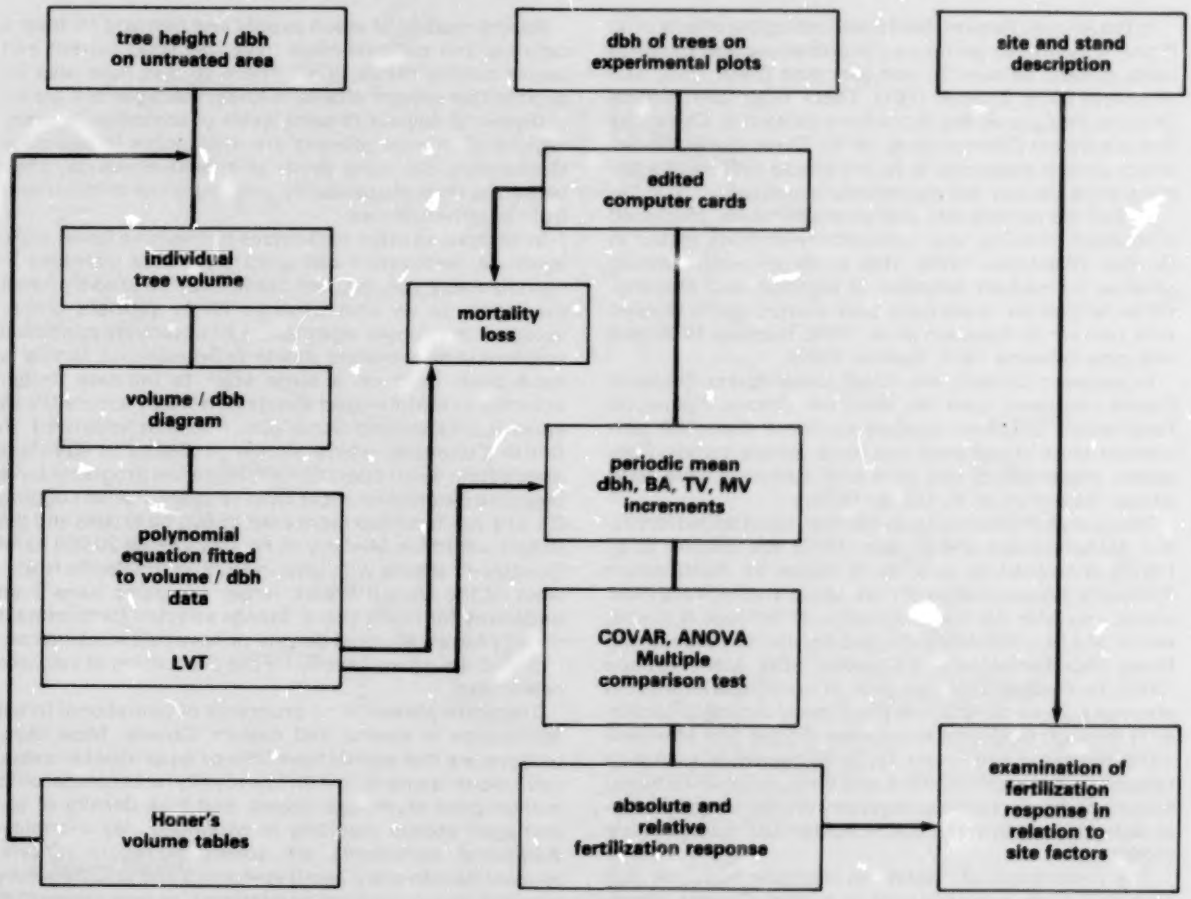


Figure 2. Flow chart for the calculation of 5-year periodic growth and fertilization responses.

Tree diameters (dbh) on the fertilized and control plots of all installations were remeasured after completion of the fifth growing season following treatments, and tree mortality was noted. Heights were measured on 15 trees per plot in Quebec. In other provinces, heights of 50 trees on untreated areas were measured over a range of diameters.

The principal steps taken in the calculation of fertilization response are illustrated in Fig. 2.

Total and merchantable tree volumes were obtained from measured tree heights and dbh and by the use of Honer's (1967) standard volume tables. Volumes were plotted against diameter, and curves fitted to the data from each installation by the use of polynomial quadratic equations. A cubic term was added if it significantly improved the fit of the curves.

For installations in mixed stands, an attempt was made to establish separate volume-diameter relationships for the different species, but the numbers of trees of secondary species were usually too few to achieve this. Visual comparison of plotted volume over diameter data did not show obvious differences between species. The use of one equation only, fitted to the entire diameter and tree volume data from one installation, therefore seemed justified. However, separate volume-diameter relationships were established for eastern white cedar (*Thuja occidentalis* L.), a secondary species in several Quebec installations.

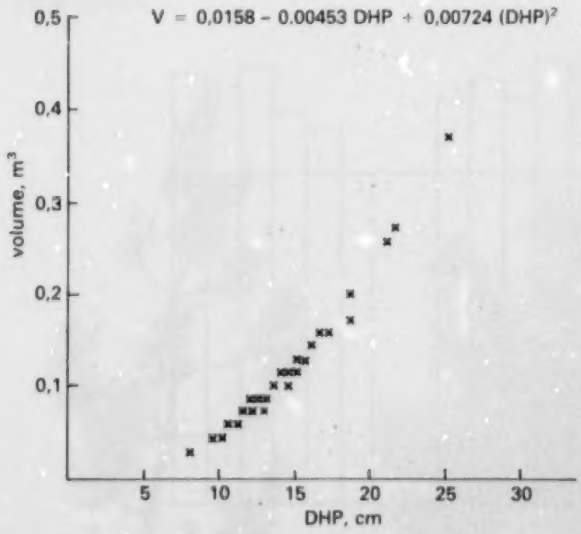


Figure 3. Total tree volume as a function of dbh (LVT).

The polynomial equations, that were prepared separately for each installation, give total or merchantable volume as a function of dbh and are referred to as local volume tables (LVT) throughout this text. An example is given in Fig. 3. In the calculation of merchantable volumes, a minimal dbh of 9 cm and a tree-top diameter of 7.6 cm were assumed. Changes in tree form resulting from fertilizer treatment were not considered.

The LVT were used to compute plot volumes both at the time of treatment and 5 years after treatment. Unfortunately, height measurements of the trees were not taken at the time of treatment on most plots. It was realized that by using the single set of LVT, a tendency for overestimating fertilization response existed (Evert 1976) and that diameter-volume relationships are subject to change as a stand ages. However, tree heights had been measured before and 5 years after treatment on the Quebec installations, which allowed for preparation of two LVT. When volume and fertilization responses were computed using two separate LVT, the results obtained did not differ significantly from those obtained with one LVT. Apparently, measurements and methods of volume determination, as normally used in fertilization research, are not sensitive enough to detect the effect of stand age on height-diameter and diameter-volume relationships.

The diameter data were edited first to eliminate erratic observations. Suspect tree cards were referred back to the cooperators. No living tree was normally excluded. Oversized trees, rarely more than one, were present on a few plots. These trees were rejected if their dbh was far beyond the limit of the LVT.

The volume of dead trees and the average stand mortality were determined first for each treatment. Initial and final mean dbh, basal area (BA), total volume (TV), and merchantable volume (MV), and the corresponding periodic increments (PI) were then computed for the stands from the trees alive at the end of the 5-year period. The resulting data were subjected to analyses of variance (ANOVA) and covariance (COVAR). Initial BA and TV were used as covariants for BA and volume increments. Treatment means adjusted by COVAR are reported if the slope of regression was significant at the 10% level of probability ($P = 0.1$). For installations where this requirement was not met, unadjusted means are shown.

The results were further subjected to Scheffe's (1959) test to determine which treatment means of an installation or group of installations differed significantly from each other. This method of multiple comparison was chosen because it has been recommended for use with data adjusted by COVAR analysis. Because it is a conservative test, treatment effects are considered significant if they meet Scheffe's criterion at the 10% level of probability.

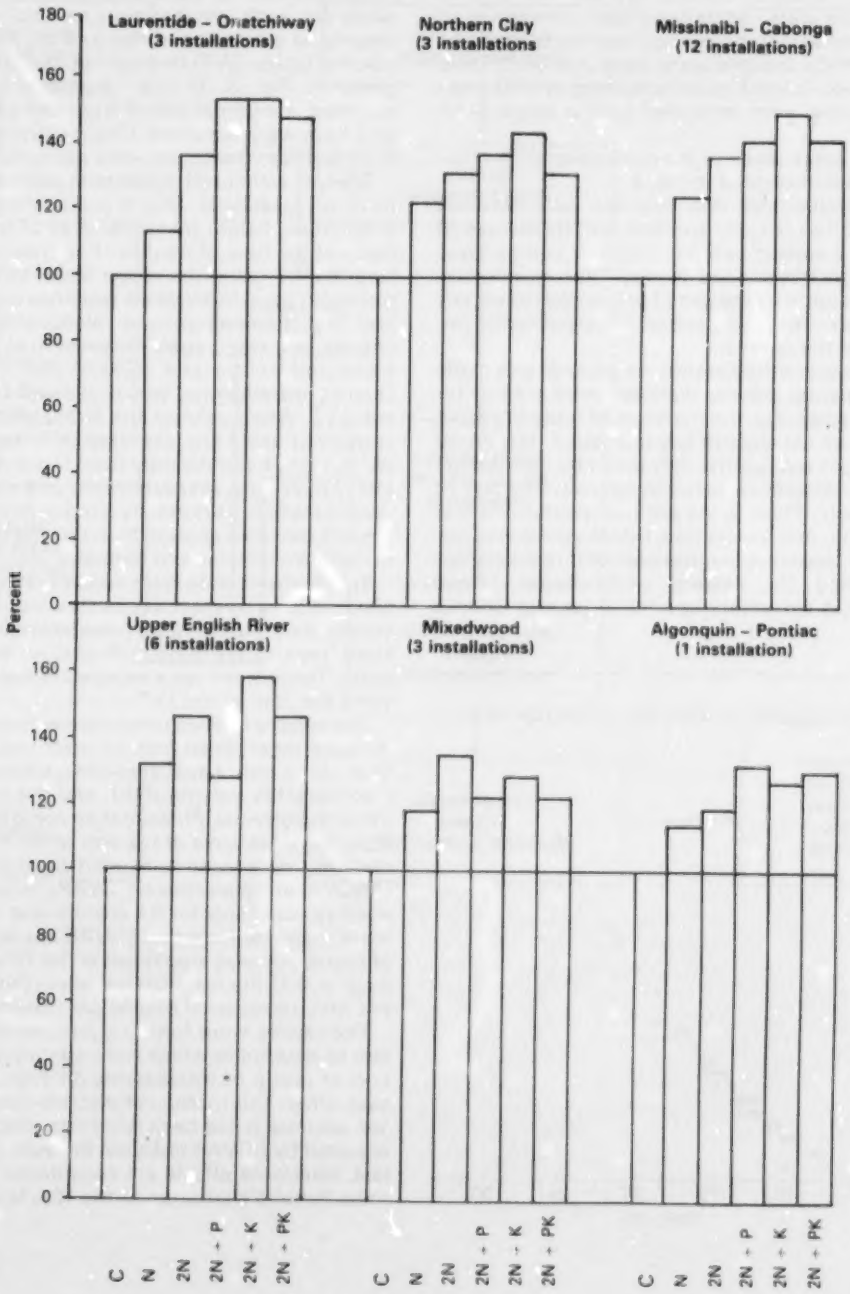


Figure 4. Relative fertilization responses for jack pine installations in selected Forest Sections.

Five-year Growth and Fertilization Responses

Treatment effects are evaluated from gross PI in total stand volume. Corresponding increments in BA and MV are given together with the initial stand measurements in Appendix II.

The productivity of experimental stands at indigenous (without fertilizer addition) fertility, and their response to treatments varied with species and growing area.

Jack Pine

This species is represented by 29 installations covering parts of Quebec, Ontario, Manitoba, and Saskatchewan (Table 2). Most of these installations (27) are located within the Boreal Forest Region. The remaining two are in the Great Lakes-St. Lawrence Forest Region. The results from the various installations are presented by the Forest Sections defined by Rowe (1972). Where there was more than one installation in a Section, the data were re-analyzed using an hierarchal classification of samples (installations) and subsamples (plots within installations) (Snedecor and Cochran 1967).

L.4b Algonquin-Pontiac Forest Section

The single experiment (Quebec 23), located towards the northern fringe of the Great Lakes-St. Lawrence Forest Region, involved a Site Class I (Plonski 1974) stand. The results of foliar analysis (Table 2) suggested N and P shortages when compared to critical values proposed by Swan (1970).

The 5-year PI on control plots amounted to 26.6 m^3/ha. Combined N and P and/or K application resulted in significantly improved growth. Gains in TV of 7.2-8.8 m^3/ha (Table 3) and a relative increase of the PI by 27-33% (Fig. 4) were realized. The successful treatments did not differ significantly among themselves (Appendix III).

L.7 Saguenay Forest Section

The stand of the single experiment (Quebec 33) was characterized by generally low foliar nutrient levels, particularly K (Table 2), and a low current growth rate on control plots (Table 3).

The 5-year remeasurement data suggested a small response to N application and a larger response to treatments containing both N and K (Table 3). However, the differences between growth on control and treated plots were statistically not significant.

B.1a Laurentide-Onatchiway Forest Section

Three stands were selected in this eastern section of the Boreal Forest, all located on rapidly drained fluvioglacial deposits (Appendix I). The stands were middle-aged and from site indices, represented Site Classes II and III (Plonski 1974). Foliar analysis (Table 2) indicated very low levels of N and low levels of P (Swan 1970). One of the stands was overstocked and another largely understocked. The variation in stocking and productivity is reflected in the initial volumes of the three installations (Table 3).

Plate I Response of jack pine foliage to nitrogen and potassium fertilization. Branches of trees without fertilizers (left) and with fertilizers (right). (Courtesy Dr. H.S.D. Swan).

The PI of the three stands varied from 10.2-23.5 m^3/ha at indigenous nutrient supplies (Table 3). The average PI was significantly increased above control with 2N + P and 2N + K. Both treatments resulted in a TV gain of slightly more than 8 m^3/ha and a corresponding relative increase of the PI by approximately 54% (Fig. 4). Plate I illustrates the foliage response to an N + K treatment in an independent study in Quebec.

Only one of the three installations (Quebec 38) showed significant treatment effects when analyzed individually (Appendix III). Although there were no significant treatment effects in the remaining two experiments, the results suggest substantial growth improvements, raising the PI by 76% in the less productive Site Class III stand (Quebec 39), but only by 35% in the Site Class II stand (Quebec 31) with 2N + PK.

B.4 Northern Clay Forest Section

Three of the Quebec jack pine experiments were located in this section. These stands were of comparable age, but differed substantially in productivity between Site Classes I, II, and III (Plonski 1974). The soils were of fluvioglacial origin and varied in texture and drainage (Appendix I). The results of foliar analysis (Table 2) indicated N and P deficiencies (Swan 1970).

The PI of these jack pine stands varied around 20 m^3/ha when no fertilizers were applied (Table 3). The average growth was significantly increased by all treatments, which included N at the high rate. Total volume gains varied between 6.5 and 8.8 m^3/ha, corresponding to a relative increase of the PI by 32-43% (Fig. 4). Comparison of N only and combination treatments indicates that P and K fertilizers had little or no effect on the average growth of these stands.

The results of statistical analysis of the individual experiments are shown in Appendix III.

B.7 Missinaibi-Cabonga Forest Section

Jack pine is represented by 12 installations in this section, which is located towards the southern fringe of the Boreal Forest in Quebec and Ontario. Several of these stands exhibited exceptionally good growth without treatment (Plate II). All except one stand represented Site Classes I or II (Plonski 1974). Most of them were supported by coarse to fine sandy soils of fluvioglacial origin (Appendix I). Foliar analysis (Table 2), conducted on four of the nine stands, suggested N, P, and K deficiencies (Swan 1970). As in the previous groups of jack pine installations, initial TV and PI at indigenous fertility were variable (Table 4) because of the large differences in age and stocking. The average PI of control plots ranked highest among the groups of jack pine stands included in the program.

*Plate II Jack pine (*Pinus banksiana *Lamb). Ontario Installation 5.*

The Missinaibi-Cabonga group showed, on the average, strong and statistically significant growth responses to all treatments that included N at the high rate of application (Table 4). The average growth was increased above control by 9.4 m^3/ha or 37% (Fig. 4) with 2N, and by a maximum of 12.9 m^3/ha or 50% with 2N + K. However, the difference in average growth of 2N and 2N + K treated stands was not statistically significant.

Analysis of individual data sets showed statistically significant treatment effects in 6 of the 12 installations (Appendix III).

B.11 Upper English River Forest Section

The six jack pine stands of this group from northwestern Ontario varied in age from 33-56 years and were all in Site Class II (Plonski 1974) except one (Table 2). All were located on rapidly and well-drained coarse to fine sands and loamy sand of fluvioglacial origin (Appendix I). Their average initial TV was higher than for the Missinaibi-Cabonga group of jack pine stands, but the average PI without treatments (Table 5) was somewhat lower. This variance is probably explained by the difference in average age of the two groups.

Group treatment means indicate significantly improved growth with fertilizer additions (Table 5). Application of N at the low and high rates increased the average PI by 7.5 m^3/ha or 32% (Fig. 4) and 10.8 m^3/ha or 48% respectively. The highest average growth rate was shown by 2N + K treated plots, but the difference attributable to K was not statistically significant.

Only three of the six installations showed significant treatment effects when analyzed individually (Appendix III).

B.18a Mixedwood Forest Section

Three comparatively old jack pine stands with low site indices (Table 2), supported by well and moderately well-drained soils originating from reworked till, were selected for experimentation in this section. They were characterized by comparatively high initial volumes and variable current productivity (Table 5).

The jack pine stands of this section may have benefited from N treatments (Table 5). The slow-growing Saskatchewan stand may have reacted also to P and K fertilizers. However, individual and group analysis did not indicate statistically significant treatment effects.

Summary

Jack pine growth was significantly improved with fertilizer treatments in most Forest Sections. Application of N only, at the rate of 224 kg/ha, resulted in average TV gains of 6.5 m^3/ha (Northern Clay), 9.4 m^3/ha (Missinaibi-Cabonga), and 10.8 m^3/ha (Upper English River), which corresponded to relative increases of the PI by 32%, 37%, and 60% respectively. In two additional Sections (Algonquin-Pontiac and Laurentide-Onatchiway), significant growth increases were obtained only when N fertilizer was combined with P and/or K fertilizers. Section treatment means as well as data from individual installations frequently showed largest growth improvement with combination treatments. However, multiple comparison of treatment means did not indicate significant differences between 2N and 2N + P, 2N + K, or 2N + PK.

All of the 29 installations exhibited growth rates above control with certain or all fertilizer treatments, but only 12 installations showed statistically significant treatment effects. This suggests that lack of experimental precision may have prevented a clear distinction between treatment effects and variations caused by uncontrolled factors in many trials.

Black Spruce

Twenty-one experiments were set up in pure or nearly pure black spruce stands within the Boreal Forest Region of northern Quebec, Ontario, Manitoba, and Saskatchewan (Table 6). The following Forest Sections were involved: Laurentide-Onatchiway, Northern Clay, Missinaibi-Cabonga, and Mixedwood.

B.1a Laurentide-Onatchiway Forest Section

The five black spruce stands of this section varied in age from 47-80 years and represented Site Classes Ia, I, and II (Plonski 1974). These stands were supported by well, moderately well, or imperfectly drained soils derived from till or fluvioglacial deposits (Appendix I). Foliar nutrient levels (Table 6) indicated N and P shortages (Swan 1970).

The black spruce stands showed, on the average, a somewhat higher initial TV and 5-year PI than the jack pine stands of the same Forest Section (Tables 3 and 7). Fertilizer treatments improved growth significantly, the largest gain in TV being 5.1 m^3/ha or 29% with 2N + P (Fig. 5). However, this was only slightly higher than the growth responses obtained with N alone at the high rate of application (26%).

B.4 Northern Clay Forest Section

Although located within the same Forest Section, the eight installations represented a very heterogeneous group of black spruce ecosystems. The soils were derived from fluvioglacial, lacustrine, and organic deposits, and from basal till. Drainage varied from moderately good to poor (Appendix I). The stands represented Site Classes I and Ia (Plonski 1974). With an age range of 51-75 years and large differences in stocking, the initial TV of the individual stands varied by a factor of six (Table 7). Foliar analysis (Table 6) revealed generally low N levels and low P levels in some but not all stands (Swan 1970).

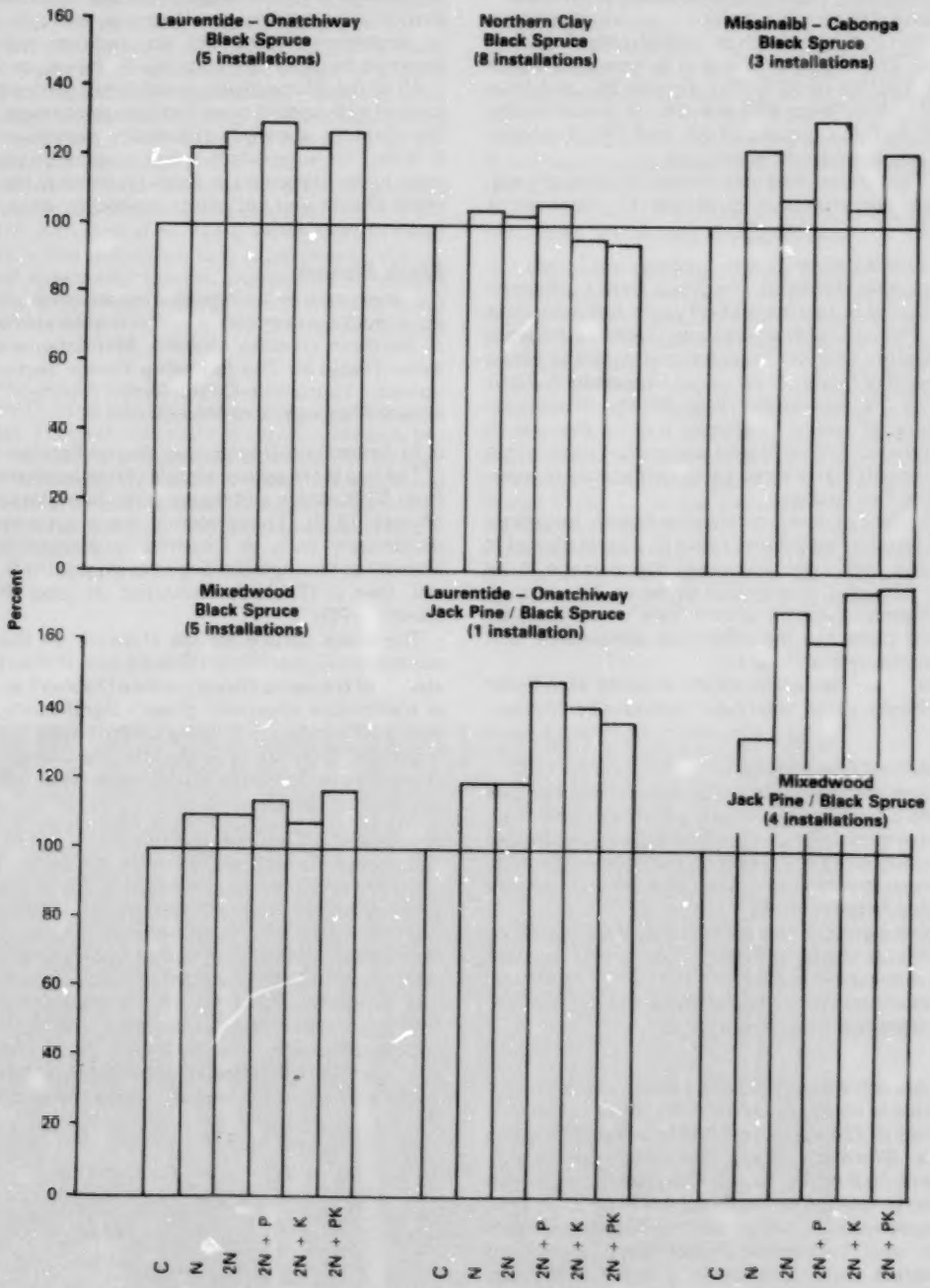


Figure 5. Relative fertilization responses for black spruce and black spruce – jack pine installations in selected Forest Sections.

This group of black spruce stands produced at the average rate of 5.2 m^3/ha per year without fertilization. Fertilizer treatments did not significantly affect the growth of any one of the individual installations nor the growth of the whole group of stands. Although not statistically significant, responses were indicated in the stands with the slowest growth (Quebec 13, 14, 17, and 21). In the faster-growing stands (Ontario 1, 2, and 12) the PI of fertilizer-treated stands was frequently smaller than the increment of untreated stands (Table 7).

B.7 Missinaibi-Cabonga Forest Section

The three black spruce stands in this section were supported by well to moderately well-drained soils of fluvioglacial origin. The stands were of uniform age (41-45 years) and representative of Site Classes I and Ia (Plonski 1974) (Appendix I). Their initial TV varied widely (Table 8) and foliar analysis (Table 6) suggested N deficiency (Swan 1970). Initial TV and PI indicated considerably lower productivity than observed in the previous group of black spruce stands.

Average growth of the Missinaibi-Cabonga group was significantly improved with N addition at both rates and with a combination of N and P fertilizers (Table 8). High rate N application without P appeared to be ineffective and a negative interaction seems to have occurred between N and K when both were applied together.

The largest fertilization response of 5.2 m^3/ha resulted from the 2N + P treatment and corresponded to a relative increase of the PI by 31% (Fig 5).

B.18a Mixedwood Forest Section

The five black spruce stands from Manitoba and Saskatchewan covered a wide range of age and site conditions (Table 6 and Appendix I). Four of the stands were supported by moderately well and imperfectly drained soils derived from morainal or lacustrine deposits, and the fifth stand was located on a poorly drained organic soil. All stands were comparatively productive (Site Classes I and Ia [Plonski 1974]) with the highest average initial volume (Table 8) of all black spruce groups analysed, and an average PI exceeded only by that observed in the Northern Clay Forest Section.

The four installations on mineral soils showed with one exception (Manitoba 7, 2N + K), larger PI on fertilizer-treated plots than on control plots. In contrast, the stand on organic soil (Manitoba 8) exhibited lower growth on most of the fertilizer-treated plots than on control plots. Application of all three elements appeared to be the only treatment with potential for improving growth on the organic soil.

Treatment means shown for individual installations and the entire group (Table 6) did not differ significantly from each other.

Summary

Black spruce did not respond to fertilizer treatments as well as jack pine. Only in 2 of the 21 installations (Quebec 35 and 36) and in two (Laurentide-Onatchiway and Missinaibi-Cabonga) of the four Forest Sections, was growth significantly improved above control. In the two Forest Sections, average TV gains were 3.7 and 4.2 m^3/ha with N addition at the low rate, and 1.3 and 4.9 m^3/ha with N addition at the high rate. Largest responses were shown for the 2N + P treatment, but differences between N or 2N and 2N + P were not statistically significant.

Jack Pine-Black Spruce

This group of installations includes stands in which the primary species comprises not more than 90% and the secondary species not less than 10% of the initial TV. Seven installations with mixed jack pine-black spruce were distributed throughout the Laurentide-Onatchiway, Northern Clay, Missinaibi-Cabonga, and Mixedwood Forest Sections (Table 6). The stands were located on rapidly to poorly drained soils derived from fluvioglacial, till, and lacustrine deposits. The stands of the Northern clay and Missinaibi-Cabonga Forest Sections, judged from site indices (Table 6) and PI (Table 9), were characterized by high indigeneous productivity; the more easternly located Laurentide-Onatchiway stand showed intermediate productivity; and the stands of the Mixedwood Forest section were, on the average, least productive.

Remeasurement of installations in the Northern Clay, Missinaibi-Cabonga, and Laurentide-Onatchiway forest Sections showed consistently larger PI on fertilized plots than on control plots (Table 9), but the statistical analysis failed to show significant treatment effects (Appendix III).

The stands of the Mixedwood Forest Section (Plate III) responded significantly, as a group, to fertilizer application of N at the high rate (Table 9). The largest response, amounting to 13.3 m^3/ha or a relative increase of the PI by 76% (Fig. 5), was obtained with the 2N + PK treatment. However, this was only slightly greater than the response to N alone.

When installations were analysed individually, only two of the group of four showed significant treatment effects (Appendix II).

Comparison of the relative total volume increments by species in the mixed stands with significant treatment effects revealed that jack pine responded more vigorously to fertilizers than black spruce (Table 10).

*Plate III Mixed stand of black spruce (*Picea mariana *[Mill.] B.S.P.) and jack pine (*Pinus banksiana *Lamb.), Saskatchewan Installation 1.*

White Spruce

White spruce stands were selected for fertilizer trials in Nova Scotia, New Brunswick, and Alberta (Table II).

The single trial in the Cape Breton-Antigonish Forest Section of Nova Scotia was located on a sandy loam of fluvioglacial origin. The stand had developed naturally on an abandoned field and was characterized by exceptionally high productivity. During the first five years of the experiments, it grew at the rate of 9.5 m^3/ha per year (TV) without treatment. This stand did not respond to fertilizer additions (Table 12).

The two Fundy Coast trials of New Brunswick were also established in stands that had developed naturally on abandoned fields. The soils were well drained, of medium texture, and had originated from basal till (Appendix I). The PI of these middle-aged stands (Table 12) were very low compared to the Nova Scotia stand. This discrepancy is explained largely by budworm infestation soon after installation of the experiment. Fertilizer treatments may have resulted in minor growth increases, but the small differences between the treated and untreated stands were statistically not significant.

In the Mixedwood Forest Section of Alberta, plots were established in three stands of variable age on soils derived from strongly differing geologic materials (Table 11 and Appendix I). Despite these differences, the productivity was high in all three stands (approximately 7 m^3/ha per year).

These white spruce stands responded well to N addition. At the high rate of application, the average PI was increased by approximately 12 m^3/ha (Table 12) or by 35% (Fig. 6). Addition of N at the low rate and combinations of N with P and/or K did not improve growth significantly above control.

Red Spruce

Red spruce trials were conducted in the Central Lowlands, Fundy Coast, and Atlantic Uplands of Nova Scotia (Table 11) on stands located on well-drained soils derived from basal or ablation till (Appendix I).

The red spruce stand of the Central Lowlands was characterized by high stocking and moderately high productivity without fertilizer addition (Table 12). All treatments except 2N + P had higher growth rates than control, but differences were not statistically significant. This stand suffered high tree mortality during the 5-year response period (Appendix IV). The high volume losses may have lowered the experimental precision of this trial.

Red spruce of the Fundy Coast installation, which formed the youngest of the three stands, showed the lowest PI (Table 12). This stand was also heavily stocked and had appreciable tree mortality in some plots. A positive response was indicated for all treatments, but growth was significantly improved above control only with 2N and 2N + PK.

The red spruce stand on the Atlantic Uplands was moderately productive without fertilization. Growth may have been improved above control with 2N + PK treatment (Table 12), but this effect was not statistically significant.

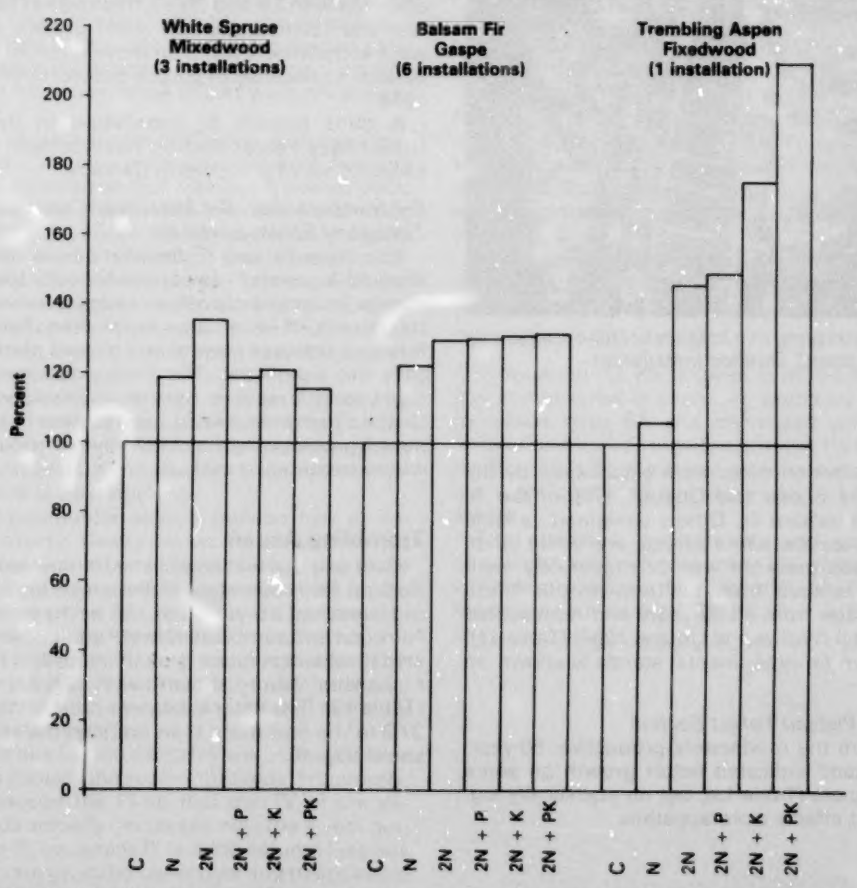


Figure 6. Relative fertilization responses for white spruce, balsam fir, and trembling aspen installations in selected Forest Sections.

*Plate IV Foliage sampling in a balsam fir (*Abies balsamea *[L] Mill.) stand, Quebec Installation.*

Balsam Fir

Balsam fir fertilization trials were established by the provinces of Nova Scotia and Quebec. Five of the 14 stands were pure balsam fir. Others contained variable portions of black spruce, white spruce, and white birch. Most of the stands grew on well or moderately well-drained soils developed from till (Appendix I). These stands varied in age from 45-62 years and represented Site Classes I and II (Vezina and Linteau 1968) (Table 11). One of the balsam fir experimental stands is shown on Plate IV.

A.6 Cape Breton Plateau Forest Section

The results from the moderately productive, 50-year-old balsam fir stand indicated better growth on some fertilizer-treated plots (Table 13), but no statistically significant treatment effects were apparent.

B.2 Gaspé Forest Section

This group of balsam fir stands with a moderately high indigenous productivity showed substantial growth increases with all treatments that included N at the high rate of application (Table 13). The N only and combination treatments resulted in an average TV gain of 9.3-9.8 m^3/ha or a relative increase of the PI by 30-32% (Fig. 6). Although N only and combination treatments have shown little variation in the group analysis, a broad response range, with a top TV gain of 17.6 m^3/ha, was observed in an individual installation (Quebec 5).

L.6 Timiscouata-Restigouche Forest Section

The single balsam fir installation showed similar productivity as stands of the previous groups, but no apparent fertilization responses. There is no obvious reason to explain the lack of response in this installation.

B.1a Laurentide-Onatchiway Forest Section

The two balsam fir stands (Quebec 27 and 29) showed a moderately high productivity at indigenous soil fertility (Table 13). Significant fertilization responses were obtained with 2N and 2N + K treatments (Table 13). Absolute and relative gains in stand growth with fertilizers were somewhat lower than those recorded for the Gaspé balsam fir because of spruce budworm infestation since 1974.

A third balsam fir installation in the Laurentide-Onatchiway Forest Section has not been evaluated because of serious budworm damage.

B.4 Northern clay, B.7 Missinaibi-Cabonga, and L.9 Timagami Forest Sections

The three balsam fir installations in western Quebec showed a generally lower productivity than the eastern stands. Improved growth was suggested with some or all treatments, depending on installation (Table 13), but differences between control and treated plots were statistically not significant. The 5-year response period coincided with a severe budworm infestation in western Quebec that presumably has resulted in a generally reduced productivity and may have introduced excessive within-treatment variation.

Trembling Aspen

Only one trial was established in the Mixedwood Forest Section on moderately well-drained loam. The 35-year-old stand had a 5-year PI of 33.5 m^3/ha without treatment. Nitrogen and combined N and P additions did not result in statistically significant growth increases. However, large responses were shown with 2N + K and 2N + PK (Table 13). The latter treatment produced a gain in TV of 37.3 m^3/ha and more than doubled the relative PI of the stand (Fig. 6).

Fertilizer Treatments and Tree Mortality

Most installations had stands with higher than normal density and stocking as defined in the yield tables (Plonski 1974; Vezina and Linteau 1968). As a result, natural tree mortality occurred in nearly all plots. Volume losses varied widely with cover type and installation (Appendix IV).

Natural tree mortality between the two measuring dates resulted in a volume loss on control plots of all jack pine installations, corresponding to 40% of the PI. There was considerable but inconsistent variation among individual installations. The averaged jack pine data (Table 14) do not indicate the effect of fertilizer treatments on tree mortality. The slightly higher rate of jack pine mortality with the 2N + PK treatment was not statistically significant.

Tree mortality was considerably higher in black spruce than jack pine installations, probably caused by the generally higher stocking and larger standing volumes in the black spruce stands. The average volume loss on control plots from the 21 black spruce installations amounted to 11.9 m^3/ha or about 53% of the averaged PI. Tree mortality in black spruce installations (Table 14) was consistently higher with fertilizer treatments. From the averaged data, volume losses were increased by slightly more than 50% with fertilization. However, these effects were not statistically significant.

Mixed stands of black spruce and jack pine showed less mortality compared to pure black spruce stands. Average tree mortality was low on control and 2N + K treated plots. Some of the fertilizer treatments may have increased mortality, but the differences are not statistically significant. All white spruce stands except one, showed moderately to very high tree mortality regardless of treatment. In the New Brunswick installations, excessive mortality resulted from budworm infestation. In the other white spruce installations, high mortality was most likely a consequence of overstocking.

Red spruce installations reacted in a similar way as black spruce in that volume losses because of tree mortality were consistently higher with fertilizer treatments than without. The most probable reason for excessive mortality in these stands is overstocking.

Balsam fir experimental stands showed low to excessive tree mortality. Heavy budworm infestation had been reported for a number of installations, and these stands had high volume losses. The averaged data for the 14 balsam fir installations (Table 14) do not indicate significant effects of fertilizer treatments on mortality.

The data from all 81 installations suggest that fertilizer treatments may have increased tree mortality in heavily overstocked stands, but may not have affected mortality in budworm infested stands.

Volume losses due to tree mortality were often greater than fertilization gains in the surviving stands. Frequently, tree mortality exceed the PI so that the TV of the experimental stands actually decreased over the 5-year period. Average net PI, i.e., gross PI less the volume loss due to tree mortality, are given by cover type and treatment in Fig. 7.

The erratic occurrence of tree mortality may have interfered directly in the experimental program by lowering stand volumes and PI, or indirectly by producing a thinning effect on some plots but not on others.

Fertilizer Treatments and Ingrowth

Data in Table 14 suggest that ingrowth of small diameter trees into the merchantable volume fraction of various cover types may have been accelerated by most fertilizer treatments. For example, averaged data for jack pine and mixed pine and black spruce showed consistently higher ingrowth on fertilized than control plots. A similar tendency was indicated for trembling aspen and balsam fir. White spruce and black spruce, represented mainly by older stands with few or no trees of nonmerchantable size at the beginning of the experiments, did not reveal consistent patterns of ingrowth.

Periodic Increment and Fertilization Response as Affected by Stand Condition

The experimental stands varied widely with age, site index, initial stocking, and volume. These variables reflect past stand productivity and have presumably affected increments during the 5-year experimental period. Furthermore, these variables have probably modified responses to fertilizer treatments. To quantify possible interrelationships between 5-year PI, fertilization response, and stand variables, data from pure jack pine and black spruce stands were subjected to multiple regression analysis.

Approximately 60% of the variation in the PI of jack pine on control plots (Plo) of the 29 installations was accounted for by differences in basal area (BA) and age (A).

$$Plo = 0.17 + 0.98BA - 0.34A \qquad R^2 = 0.58 \qquad (1)$$

In equation (1), Plo is given in m^3/ha, BA in m^2/ha, and age is measured in years. As would be expected, the PI increased with BA and decreased with age. This interrelationship was significant at the 1% level of probability ($P = 0.01$). Total volume and site index did not contribute significantly to the regression of Plo in jack pine stands.

The statistical analysis showed various levels of correlation between response (ΔPI) of jack pine and stand variables. However, the regression of ΔPI was significant for only one treatment, 2N + K ($P = 0.05$).

$$^{\Delta PI}2N + K = 12.34 + 0.06TV - 0.24A \qquad R^2 = 0.33 \qquad (2)$$

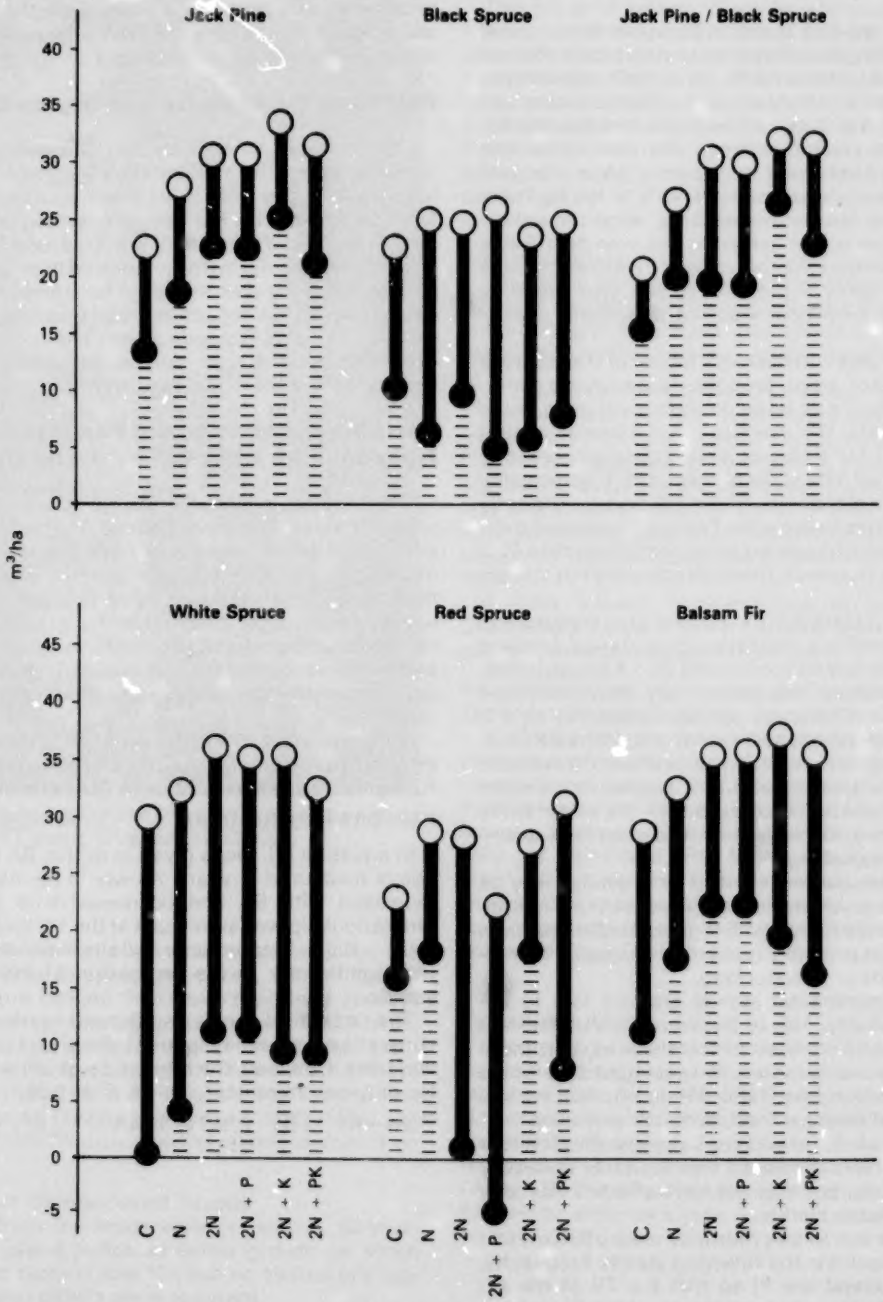


Figure 7. Gross and net total volume increments by species and treatment during the first 5-year period following fertilizer application.

Equation (2) predicts an increase in response of 6 m^3/ha with every additional 100 m^3/ha of standing volume at constant age. The response is likely to decrease with increasing age. However, initial TV and age accounted for only 33% of the observed variation in jack pine response to 2N + K treatments. Site index and BA did not contribute significantly to the regression of $^{\Delta PI}N + K$.

The analysis of black spruce data revealed a low correlation ($R^2 = 0.42$) between the PI on unfertilized plots and the four stand variables previously tested with jack pine. Responses to N were not significantly related to stand variables, but apparently, responses to fertilizer treatments that included P and K were dependent in part on stand conditions.

$$^{\Delta PI}2N + PK = 0.1 + 0.82BA - 0.1TV - 0.09A \qquad R^2 = 0.52 \qquad (3)$$

The tree stand variables, BA, TV, and age, accounted for 52% of the observed variation in response of black spruce to 2N + PK. Site index did not make an important contribution to the regression. As with jack pine, the response to fertilizer addition decreased with increasing age. At a given BA, response would be expected to decrease with initial TV. High TV may reflect old stand age, high site quality, or both, when a response to fertilizers is less likely to occur. The regression depicted in equation (3) was significant at P = 0.01.

Periodic Increment and Fertilization Response as Affected by Foliar Nutrient Levels

Foliar nutrient data were available for all Quebec installations, a few jack pine and black spruce installations in Ontario, and several white spruce installations from New Brunswick and Alberta (Tables 2, 6, and 11). The jack pine and black spruce installations with foliar nutrient data were subjected to regression and correlation analyses to determine interrelationships between Plo and foliar nutrient contents, or fertilization response and foliar nutrient contents.

The PI of jack pine on unfertilized plots showed weak correlations with foliar concentrations of the five nutrient elements determined. Simple correlation coefficients (r) varied from 0.43–0.56. In multiple regression analysis, approximately 60% of the variation of Plo in jack pine was explained by difference in concentrations of foliar N, P, K, Ca, and Mg. However, the regression of Plo on foliar nutrient contents was statistically not significant because of the low number of installations available for this analysis.

A significant relationship existed between jack pine response to the 2N treatment and foliar nutrient levels.

$$^{\Delta PI}2N = 0.37 - 25.2N + 159.3P - 41.9K - 3.4Ca + 363.4Mg \qquad R^2 = 0.80 \qquad (4)$$

Concentrations of foliar N, P, K, Ca, and Mg explained 80% of the variation in the response to this treatment. Omission of Ca barely changed the coefficient of determination ($R^2 = 0.799$). Stepwise multiple regression analysis further singled out Mg and K as the most important variables.

The prominent role of Mg in the regression of $^{\Delta PI}2N$ is difficult to explain. The experimental design did not include Mg in the treatments. Hence, it cannot be established that the regression component relating to Mg reflects a cause and effect relationship or that Mg simple is a variable closely associated with the one that actually controls fertilization response. However, Morrison et al. (1976*a*) carried out an experiment in northern Ontario that included application of Mg. They reported minor, but statistically not proven responses to Mg when it was applied with N and P at certain application rates.

The regression of $^{\Delta PI}2N$ on foliar nutrient levels of jack pine was significant at P = 0.05. Regressions of jack pine responses to 2N + P, 2N + K, and 2N + PK on foliar nutrient levels were not statistically significant. Regressions of black spruce responses on foliar nutrient levels also were not significant.

Site, Periodic Increments, and Fertilization Response

The site of each individual trial was characterized when plots were established. Principal site variables included were slope, origin and texture of the soil parent material, soil drainage, rooting depth, and composition of the group cover vegetation (Appendix I).

Interrelationships between PI or response to fertilizer treatments and site variables determined in the field could not be quantified during analysis of the data for this report. The selected site factors may not have played an important role in controlling growth and fertilization response, and furthermore, site descriptions were made by different investigators in each of the eight participating provinces. Subjectivity is unavoidable in this type of assessment and may have contributed to the apparent lack of statistically significant relationships between fertilization response and site data.

Discussion

Response to Nitrogen

Growth improvements were significant in 9 of the 14 groups of installations in different Forest Sections and 16 of the 81 individual installations with application of N only. Responses were more frequent and the size of response tended to be greater with 2N (224 kg/ha) than N (112 kg/ha). Responses also varied with cover type and Forest Section, but no consistent pattern was revealed.

Magnitude of Response

Jack Pine

For jack pine installations with statistically significant treatment effects, the additional growth from 112 and 224 kg/ha of fertilizer N varied between 0.8 and 3.2 m^3/ha per year and 1.3 and 3.8 m^3/ha per year respectively. The responses to N tended to be higher in the Missinaibi-Cabonga and Upper English River Sections than in other portions of the Boreal and Great Lakes-St. Lawrence Forest Regions. These observations generally agree with the results from other studies.

Morrison et al. (1976*b*, 1977*a*, 1977*b*) reported increases in the 5-year periodic annual increment (PAI) as low as 1.2 and in excess of 2.5 m^3/ha with 200-250 kg ha of N. These authors suggested the existence of an inverse relationship between fertilization response and site quality.

Hoyt (1973) found increases in the PAI of approximately 1.5 m^3/ha in two New Brunswick semimature jack pine stands during the first 5-year period following application of 168 kg/ha of N. He pointed out that these stands represented Site Class I, and he expected greater increases of the PAI for stands of lower site quality. The data from the interprovincial trials have not revealed a quantitative relationship between site index or current increments and fertilization response.

Nitrogen fertilization of soils supporting jack pine plantations in the pole stage yielded similar increases of PAI as reported for natural stands (Leech 1969; Timmer and Morrow 1980).

Black Spruce

In black spruce installations with significant N effects, the PAI was increased by 1.1 m^3/ha or 27% (Quebec 35) with 112 kg/ha and by 2 m^3/ha or 76% (Quebec 36) with 224 kg/ha of N. In the Laurentide-Onatchiway and Missinaibi-Cabonga Sections, average responses were 0.8 and 0.7 m^3/ha per year (22% in both cases) with the low rate N and 1.0 and 0.3 m^3/ha per year (22% and 8%) with the high rate N application. In comparison, van Nostrand (1979) reported increases in the PAI of 2.3 and 2.6 m^3/ha (74% and 102%) over a 9-year period with split application of 202 kg/ha of N to two black spruce stands in Newfoundland.

Fertilization experiments at two black spruce sites in New Brunswick showed an annual fertilization gain of 1.0 m^3/ha for both sites over the first 5-year period following application of 168 kg/ha of N. The corresponding relative responses were 18% and 29% respectively (Krause 1981). Weetman et al. (1980) reported a similar response in upland black spruce of Quebec with an N application rate of 112 kg/ha and a two-fold increase when N was added at the rate of 448 kg/ha. The fertilization effect in a black spruce trial in northern Ontario (Morrison and Foster 1979) was comparable to the New Brunswick results. A 150 kg/ha application of N increased the 5-year PAI by approximately 0.9 m^3/ha or by 14%. Lower relative growth responses to N were indicated by the initial results of trials in black spruce plantations of northern Ontario (Timmer and Morrow 1980).

Independent studies have indicated that N shortages are common in middle-aged and near-mature black spruce stands of eastern Canada. The variable response to similar amounts of fertilizer N may be caused by differences in stand conditions (See equation [3]) and levels of indigenous soil fertility. Furthermore, independent studies and interprovincial trials have shown that volume gains per unit weight of added N would tend to be lower in black spruce than jack pine stands.

Several explanations are available for the low frequency of significant fertilization effects in black spruce stands of the interprovincial trials. The program included a number of old stands (Plate V) where response is less likely to occur, according to equation (3). Several sites were characterized by excess water and others may have had indigenous nutrient supplies high enough to meet the requirements of the stand. Finally, although it is not statistically significant, growth was higher on N-treated plots than control plots of all but 5 of the 21 installations. Thus, true N effects were probably obscured by large within-treatment variation in many installations.

White Spruce

The average 5-year PAI of the three Alberta white spruce stands was increased by 2.4 m^3/ha. This is among the highest responses in the interprovincial and independent fertilization trials. In contrast to the results of the Alberta trials, N only treatments failed to stimulate growth in a predominantly white spruce stand of northern Ontario (Morrison and Foster 1979). This stand had a gross PAI of approximately 9 m^3/ha on control plots. The authors believed that the lack of reaction in this productive stand confirmed their observation of low fertilization responses in high-vigour forests. This explanation could also be applied to the productive Nova Scotia white spruce trial that failed to show significant treatment effects.

Red Spruce

Little information is available for this species from independent experiments. At a central New Brunswick location, a semimature stand with red spruce predominating, responded to a N treatment of 168 kg/ha with an increase in the PAI of 1.8 m^3/ha or 50% (Krause 1981). This is considerably higher than the 2N response of red spruce (1.2 m^3/ha per year) in the Fundy Coast Section (Nova Scotia 4), the only interprovincial red spruce trial with significant treatment effects.

Balsam Fir

In the balsam fir installations with significant N effects, the 5-year PAI was increased by 2.1 m^3/ha at the low rate of application (Quebec 5) and by 3.1 m^3/ha at both the low and high rate applications (Quebec 6). In the group of six stands from the Gaspe Section, an average increase in the PAI of 1.9 m^3/ha was observed. A similar response was reported by Gagnon et al. (1979) for another balsam fir stand in Quebec. The PAI was increased by 1.3 m^3/ha over a 10-year period following application of N at the low rate of 112 kg/ha.

Lower gains from N treatments were recorded in several New Brunswick experiments. The PAI was significantly increased by 0.9 and 0.5 m^3/ha through the first 5-year period following application of 168 kg/ha of urea N in pure and mixed balsam fir stands respectively (Krause 1981). One stand represented a productive site where N shortage was probably not severely limiting growth. Another stand had suffered budworm damage. At another balsam fir site in New Brunswick (Hoyt 1973), application of 168 kg/ha of N did not increase growth significantly.

Many balsam fir trials were affected by spruce budworm attack which undoubtedly modified growth and fertilization response in the experimental stands. The interprovincial and independent trials do not suggest that trees on fertilized soil are more resistant to the insect. The small plots of conventional experiments are readily infested. However, Sheedy's (1977) observations are of special interest; a 120-ha watershed, aerially fertilized with N, remained free of noticeable budworm damage despite the presence of the insect in the adjacent forest.

Application Rate

Forest fertilization has yielded typical response curves showing diminishing returns with increasing application rates until a maximum in productivity is reached, then growth declines when application rates are increased beyond this point (Malm and Moller 1974; Morrison et al. (1976*b*). The interprovincial trials with their three levels of N do not allow response curves to be drawn. However, some aspects relating to application rate are worth discussing.

Plate V Crown closure in an Ontario black spruce stand.

For all installations with significant treatment effects, average responses of jack pine to N (112 kg/ha) and 2N (224 kg/ha) amounted to 10.1 and 12.7 m^3/ha respectively, or 9.0 and 5.6 m^3 of wood for every 100 kg of N added. In the Upper English River group of jack pine stands, the average increases in PI with N and 2N were 7.5 and 10.8 m^3/ha respectively, which corresponded to 6.6 and 4.8 m^3 of wood per 100 kg N. The rapidly diminishing returns from the applied fertilizer suggest that the observed volume gains with 224 kg/ha of N are close to the maximum response. This observation agrees with the data of Morrison et al. (1976*b*) who recorded maximum fertilization gains in a jack pine stand with 224 kg/ha and a decline in response with the application of 448 kg/ha of urea N. Therefore, application rates exceeding 224 kg/ha of N may not be warranted in jack pine stands. In operational fertilization, application rates below 200 kg/ha of N would be preferable because of rapidly diminishing returns above 112 kg/ha.

The individual black spruce installations with significant N effects showed responses of 4.5 and 5.4 m^3/ha to N addition at the low rate and 10.1 m^3/ha to N addition at the high rate. However, in the Laurentide-Onatchiway group of black spruce stands, the average PI for the 2N treatment exceeded the PI for the N treatment by only a narrow margin. For the Missinaibi-Cabonga installations, the average response to 2N was lower than the response to N. Thus, it is not clear whether application rates above 112 kg/ha of N are warranted. Morrison and Foster (1979) found no additional response in a black spruce stand when application rates were increased above 150 kg/ha of N. However, Weetman et al. (1980) reported that the response of a black spruce stand in Quebec to 112 kg/ha of N was doubled when the rate of application was raised to 448 kg/ha. Apparently the high rate urea application accomplished more than simply supplying additional N. It may have altered chemical, physical, and biological properties of the forest floor, resulting in greater availability of indigenous N and increased rates of nutrient cycling (Weetman et al. 1980).

The balsam fir data from the interprovincial trials with significant treatment effects also do not support the use of high N application rates. In the group of white spruce stands of the Mixedwood Section, the second increment of N appears to have resulted in a notable volume gain (Table 12). However, the data are inconclusive and a dosage trial is required to clearly show the effect of application rate on response.

Nitrogen Carriers

In the interprovincial trials, urea was used as the N carrier because it has been the preferred N source in operational fertilization in North America (Bengtson 1976). In the late 1960's and 1970's, Scandinavian researchers demonstrated that ammonium nitrate produced a greater response in Norway spruce and Scots pine per unit weight N than urea (Malm and Moller 1974). As a result, ammonium nitrate had replaced more than 50% of urea in forest fertilization in Sweden by the early 1970's (Bengtson 1976).

Various reasons have been suggested for the superiority of ammonium nitrate: application of urea during warm and dry weather may be followed by excessive volatilization losses of NH_3, especially on coarse soil with a thin forest floor (Carrier and Bernier 1971; Bernier et al. 1972); fixation and immobilization of urea-N may be caused by raw humus of the forest floor (Overrein 1970); and retarded hydrolysis of urea because of a lack of urease (Brantseg 1967).

On the North American continent, ammonium nitrate was found to be superior to urea in a jack pine fertilization experiment in Quebec (Weetman and Algar 1974), and in experiments with Douglas-fir in Oregon (Harrington and Miller 1979). In contrast, Morrison et al. (1976*a*) were unable to detect a difference between responses of jack pine to ammonium nitrate and urea in northern Ontario. The extensive studies in pine forests of the southeastern United States also failed to reveal major differences between the effectiveness of urea and ammonium nitrate as N carriers (Bengtson 1976).

The more recent work of Camire (1980) with young jack pine forests in Quebec has shown ammonium sulphate to be superior to urea in treatments applied in autumn. This observation further complicates the choice of N carriers. Additional information is required before a forest manager can choose rationally between the commonly used N carriers.

Inconclusive Phosphorus and Potassium Effects

In the first report on 5-year results of the interprovincial program (Weetman et al. 1976), N was shown as the only proven treatment or treatment component to be generally effective in promoting tree growth, although maximum growth usually occurred on plots with the combination treatments of 2N + P, 2N + K, or 2N + PK. This general pattern of response is still evident after evaluation of all 81 installations. In several installations, significant growth increases were shown for 2N + P, 2N + K, and 2N + PK treatments, but not for N only treatments.

It is expected that, following the principal of limiting factors, deficiencies of one or several additional nutrient elements would develop as the supply of N is increased. Foliar analysis has shown low levels of P or K, in addition to low levels of N, in several installations. Furthermore, P was an important factor in equation (4) relating jack pine response to initial foliar nutrient levels. The interprovincial trials have not proven, however, that growth limitations due to P and K shortage exist in the various Forest Sections covered by this program.

Morrison et al. (1976*a*) and Morrison and Foster (1979) observed a similar response pattern in their forest fertilization studies with jack pine and black spruce of northern Ontario. Factorial experiments conducted in jack pine, black spruce, mixed spruce, and balsam fir, and pure balsam fir stands of New Brunswick with two levels of N, P, and K also showed frequent growth improvement with P or K, but statistically significant interactions were not evident, and only N produced a statistically significant main effect (Hoyt 1973; Krause 1981). Another example of notable but statistically not significant volume accretions after P application are the black spruce trials by van Nostrand (1979) in Newfoundland.

Evidence of improved growth through a N and P interaction was given recently by Morrison and Foster (1979). Their data from a factorial experiment in a mixed spruce and fir stand indicated a TV gain of 11.1 m^3/ha with combined N and P treatment, but negative effects when either one of the elements was used separately.

Finnish experience has indicated that P applied in combination with N may sometimes prolong N fertilization effects (Viro 1971).

The uncertainty of presently available information on the roles of P and K in forest fertilization requires that additional experiments be conducted.

Fertilization Efficiency

A useful value in planning and evaluating forest fertilization programs is the amount of fertilizer required to produce a unit volume of wood. This is a measure of fertilization efficiency.

Jack pine installations with significant responses to N (112 kg/ha) and 2 N (224 kg ha) exhibited TV gains of 4.2 – 15.9 m^3/ha and 6.6 – 19.0 m^3/ha respectively. These values corresponded to a N fertilizer requirement of 7.0 – 26.7 kg/m^3 and 11.7 – 34.9 kg/m^3 of wood. For black spruce installations with significant growth responses, the N fertilizer requirements were 20.7 and 25.9 kg m^3 at the low application rate and 22.2 kg/m^3 at the high rate. In balsam fir stands ratios ranged between 22 and 44 kg/m^3. The jack pine and black spruce ratios are generally comparable to Swedish observations. Scots pine and Norway spruce have shown average N requirements of 23 and 27 kg/m^3 respectively, for wood produced with urea fertilization at the rate of 224 kg/ha of N (Jonsson 1977).

The regional forest nutrition studies with Douglas-fir in the Pacific Northwest are of special interest regarding fertilization efficiency. Nitrogen requirements for additional wood produced within four years after urea fertilization at 224 and 448 kg/ha were only 12 and 22 kg/ha. Presumably a requirement for high efficiency is the recycling of applied fertilizer nutrients. Nutrient cycling in general occurs more expediently in the climatically favoured Douglas-fir region of the Pacific region than in the boreal regions of Canada and Scandinavia, and faster in pine than in spruce forest ecosystems (Krause et al. 1978).

The Swedish data (Fig. 8) indicate a strong dependence of fertilization efficiency on rate of fertilizer application. Using a 5-year response basis, the amount of fertilizer N required to produce one m^3 of wood in Scots pine was lowest at approximately 180 kg/ha, and increased rapidly above 250 kg/ha. With Norway spruce, the amount of N required to produce one m^3 of wood increased about linearly at application rates from 120-600 kg/ha. Because response does not usually terminate within five years, the Swedish data indicate higher fertilization efficiencies when rated on a 10-year basis. In addition, maximum efficiency shifts slightly to higher application rates with a 10-year rather than a 5-year basis.

Response Prediction

Prediction of fertilization response is the principal reason for most field experimentation. Rosvall (1979) developed a response prediction model, based on Scandinavian experience, in which the site index is a key factor. Absolute and relative response are expected to decrease as site index increases.

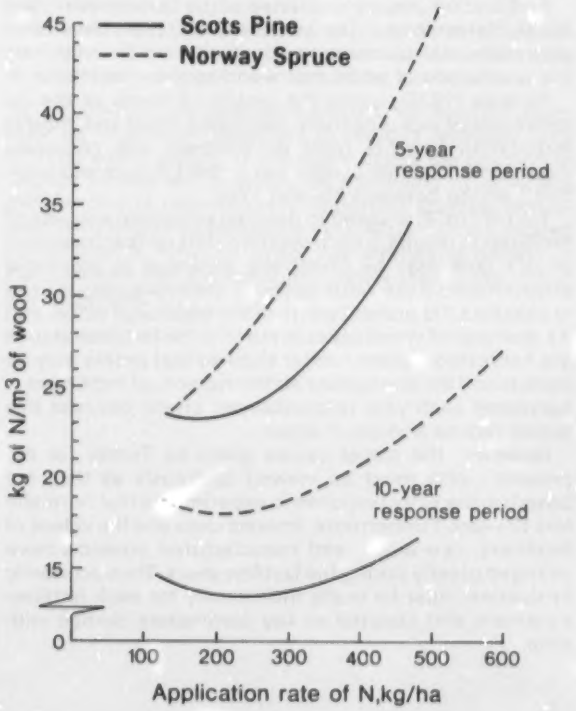


Figure 8. Amount of urea N required to produce one m^3 of wood (total volume) by Scots pine and Norway spruce as a function of application rate (redrawn from Johnsson 1977).

In the interprovincial trials, site index did not contribute significantly to the regression of fertilization response. Among the stand factors, age and initial BA and TV were the most important variables (see equations [2] and [3]). However, the regression models, based on stand factors, had low precision and cannot be used for response prediction. Foliar analysis seems more promising. According to equation (4), fairly accurate fertilization response in jack pine to N treatment may be predicted from the foliar concentrations of the commonly determined macroelements. The development of reliable prediction models resembling the Swedish example in complexity (Rosvall 1979) would require additional trials as well as systematic studies of nutrient behaviour in plant and soil.

Measurements of leaf weight and nutrient contents one year after treatment may be a shortcut to the long period (5-10 years) of empirical testing. Such an approach has been tried for balsam fir (Timmer and Stone 1978) as well as for jack pine and black spruce (Timmer and Morrow 1980).

Economic Considerations and Implication of Results to Forest Management

Fertilization may be evaluated at the "stand level" and at the "forest level." The interprovincial trials have been predominantly concerned with stand level benefits, i.e., the production of additional wood at given locations.

Nadeau (1977), using the results of some of the interprovincial jack pine trials, calculated direct and indirect fertilization benefits from government and corporate viewpoints. The rate of return in current dollars was positive, varying between 3% and 12%.

Tucker (1974) showed in detailed economic analysis of fertilization results in northwestern Ontario that treatment of jack pine may be financially attractive to provincial governments if the value added in manufacturing is used to calculate the present worth of the additional wood, and if a shortage of wood exists at the time the fertilized stands are harvested. Tucker further showed that profits may be increased if the anticipated additional annual increment is harvested each year (allowable cut effect) because this would reduce interest charges.

However, the actual values given by Tucker for net present worth must be viewed cautiously as they are based on the early response in experiments that normally last 10 years. Furthermore, interest rates and the values of fertilizers, raw wood, and manufactured products have changed greatly during the last few years. Thus economic evaluation must be made individually for each fertilizer treatment and updated as key parameters change with time.

In many regions the main incentive for forest fertilization has been to reduce problems caused by age-class gaps. One alternative for the forest manager faced with such problems is to use fertilizers to rapidly increase the growth of younger stands. When combined with thinning, forest fertilization may provide a value return that is particularly high and can be considered a "strategic value" (Canadian Forestry Service 1973). Some of the present fertilization of British Columbia is based on these considerations.

Difficulties in realizing this important benefit from forest fertilization in many parts of Canada appear to be:

1. Lack of development in strategic forest management planning
2. Poor species utilization and low quality growing stock
3. High risk problems associated with windthrow and insect losses in unmanaged forests
4. Extensive reserve growing stock of overmature forests
5. Low royalty or appraised stumpage charges on public lands
6. Lack of incentive for timber growing on public land
7. Regional forest economics dominated by low value pulpwood and pulp chip markets.

As the local wood supply becomes tighter and some of the above constraints are relieved, the attractiveness of forest fertilization will increase.

Deficiencies in the Interprovincial Trials

When choosing the experimental design, it was hoped that two treatment replicates on carefully established plots, with trees measured and remeasured at 1/100 inch (0.25 mm) of diameter, would provide sufficient sensitivity to detect reliable treatment effects. Apparently this has not been achieved with many installations. Higher experimental precision, probably attainable with a large number of treatment replicates, would have been required to prove the effects of P and K additions. According to the experience of the field crews, it was difficult to locate stands sufficiently uniform and large to meet the requirements of the simplified design.

High tree mortality reduced experimental precision in many installations. With the high levels of stocking, excessive volume loss from natural tree mortality should have been expected because pole-sized and semimature natural stands in which stocking has been controlled are rare in Canadian forests. Another important factor is that tree crowns do not develop in overstocked stands following fertilizer treatment. Fertilization potential can be fully realized only when combined with thinning (Jonsson and Moller 1976).

The unfortunate coincidence of the trials with the onset of the spruce budworm epidemic has led to a loss of data in balsam fir and white spruce installations.

Summary and Conclusions

1. Jack pine responded significantly to fertilizer treatments in five of seven Forest Sections and in 13 of the 29 installations. Although recorded growth was highest with combination treatments of 2N + P, 2N + K, or 2N + PK in most cases, the differences between N only and combination treatments were always statistically not significant. In installations with significant N (224 kg/ha) effects, PI were increased by 6.6 – 19.1 m^3/ha.

2. Fertilization improved black spruce growth significantly in two of four Forest Sections and in 2 of 21 individual installations. According to section treatment means (Laurentide-Onatchiway and Missinaibi-Cabonga), N fertilizer was as effective at the low rate as at the high rate, and P and K additions did not improve growth beyond that obtained with N alone.

3. The growth of mixed stands of jack pine and black spruce was improved by N addition at the high rate and by all combination treatments of N, P, and K in the Mixedwood Section. Although individual installations suggested increases in growth with combination treatments above N only treatments, the effects of P and K were not statistically significant. Jack pine was more responsive to fertilizer addition than black spruce in the mixed stands.

4. White spruce stands showed substantially improved growth with N addition at the high rate in the Mixedwood Section of Alberta, but no responses were observed with any one of the fertilizer treatments in the Maritime provinces. In one Section, heavy budworm infestation had interfered with the experimentation.

5. Red spruce stands in Nova Scotia, characterized by high stocking and excessive tree mortality, exhibited significant growth increases with 2N and 2N + PK treatments in one of three Forest Sections.

6. Balsam fir stands responded significantly to N and combination treatments of N, P, and K in two of seven Forest Sections and in 2 of 13 installations. Total volume gains ranged from 10.3 – 17.6 m^3/ha which corresponded to relative increases of the PI by 30-51%.

7. Aspen tested in a single trial within the Mixedwood Section of Saskatchewan was most responsive to nutrient supplementation. The 5-year PI was increased by 37.3 m^3/ha or 111% with 2N + PK.

8. In 60 of the 81 installations growth as observed with any one of the fertilizer treatments was larger than growth on control plots. The low frequency of statistical significance ($P \leq 0.05$ for F-ratios, $P \leq 0.10$ for Scheffe's test) suggests that fertilization effects may have been obscured by large within-treatment variation because of uneven stocking, insect defoliation, and tree mortality in many installations.

9. In 18 of the 23 installations with significant treatment effects, the highest growth rates were recorded with a combination treatment of N, P, and/or K. In another seven installations, growth was significantly improved with combination treatments only. However, in all cases, N only and combination treatments did not differ significantly from each other. This lack of statistical significance should not be regarded as final proof that naturally supplied P and K was adequate for tree growth, but it should indicate a need for additional experimentation.

10. Fertilization efficiency as measured by the amount of fertilizer N required to produce a unit volume of wood, appears similar in forests covered by the interprovincial trials and in Scandinavian forests, but fertilization in Douglas-fir forests of the Pacific northwestern region seems to be more efficient than fertilization in eastern forests.

11. Site index and site variables, such as drainage, texture, soil parent material, and ground vegetation, did not explain fertilization response. Attempts to relate response to stand variables, such as age, initial BA, and TV met with limited success, but foliar levels of the commonly determined macro-elements accounted for 80% of the jack pine response to high rate N application.

Reliable response prediction requires further field experimentation and in-depth study of nutrient availability and fertilizer interactions in the forest environment.

12. Economic analyses have shown that fertilizer usage may be financially attractive in regions currently with limiting wood supply, but in many cases, the decision to fertilize forests will probably be motivated by age-class deficiencies in commercially important species, associated with declining allowable cuts. Management-related constraints to fertilizer usage for prompting growth in Canadian forests are listed and measures for their relief are suggested.

Tables

Table 1. Summary of installations by province, year, and species.

	Nova Scotia	New Brunswick	Quebec	Ontario	Manitoba	Saskat-chewan	Alberta	Total
				Number of installations				
1968/69	0	2	0	0	0	0	0	2
1969/70	3	0	8	5	8	2	2	28
1970/71	2	0	14	7	0	0	0	23
1971/72	0	0	10	6	0	1	0	17
1972/73	0	0	8	0	0	2	1	11
Total	5	2	40	18	8	5	3	81
Jack pine	0	0	12	14	2	1	0	29
Black spruce	0	0	12	4	4	1	0	21
Jack pine/ black spruce	0	0	3	0	2	2	0	7
White spruce	1	2	0	0	0	0	3	6
Red spruce	3	0	0	0	0	0	0	3
Balsam fir	1	0	13	0	0	0	0	14
Aspen	0	0	0	0	0	1	0	1
Total	5	2	40	18	8	5	3	81

Table 2. Forest Sections, age, site index, and foliar nutrient concentrations of jack pine experimental stands.

Installation	Forest Section†	Stand age	Site index*	Foliage content				
				N	P	K	Ca	Mg
		year		percent				
Que. 10	B.7 Missinaibi-Cabonga	46	18.3	1.06	0.11	0.38	0.07	0.10
Que. 11	B.7 Missinaibi-Cabonga	44	19.8	1.17	0.12	0.42	0.08	0.09
Que. 18	B.4 Northern Clay B	54	13.1	1.08	0.11	0.37	0.14	0.09
Que. 19	B.4 Northern Clay B	48	14.3	1.11	0.11	0.34	0.08	0.08
Que. 20	B.4 Northern Clay B	46	17.1	1.16	0.11	0.44	0.07	0.08
Que. 23	L.4b Algonquin-Pontiac	38	16.8	1.13	0.09	0.39	0.19	0.09
Que. 26	B.7 Missinaibi-Cabonga	42	15.8	1.03	0.09	0.38	0.24	0.09
Que. 31	B.1a Laurentide-Onatchiway	54	16.5	1.01	0.09	0.37	0.18	0.08
Que. 33	L.7 Saguenay	38	16.5	1.13	0.09	0.26	0.25	0.07
Que. 38	B.4b Laurentide-Onatchiway	45	13.7	1.02	0.09	0.38	0.22	0.08
Que. 39	B.4b Laurentide-Onatchiway	45	13.7	1.13	0.10	0.38	0.22	0.08
Que. 40	B.7 Missinaibi-Cabonga	40	12.8	1.18	0.12	0.36	0.24	0.09
Ont. 3	B.7 Missinaibi-Cabonga	55	14.6	1.01	0.11	0.34	Not avail-	
Ont. 3	B.7 Missinaibi-Cabonga	48	17.8	1.05	0.11	0.32	able	
Ont. 5	B.7 Missinaibi-Cabonga	45	18.3	1.10	0.11	0.34		
Ont. 6	B.7 Missinaibi-Cabonga	40	15.8					
Ont. 7	B.7 Missinaibi-Cabonga	31	15.2					
Ont. 8	B.7 Missinaibi-Cabonga	28	16.8					
Ont. 9	B.7 Missinaibi-Cabonga	21	18.0					
Ont. 10	B.7 Missinaibi-Cabonga	21	18.0					
Ont. 13	B.11 Upper English River	49	16.5					
Ont. 14	B.11 Upper English River	49	16.5			Not available		
Ont. 15	B.11 Upper English River	56	14.0					
Ont. 16	B.11 Upper English River	56	14.3					
Ont. 17	B.11 Upper English River	33	14.3					
Ont. 18	B.11 Upper English River	36	12.8					
Man. 1	B.18a Mixedwood	62	12.5					
Man. 2	B.18a Mixedwood	70	12.5					
Sask. 2	B.18a Mixedwood	73	13.7					

† As defined by Rowe (1972).
* Height in metres at age 50.

Table 3. Initial, total volume (TV), and 5-year periodic increments in untreated and fertilized jack pine stands of the Algonquin-Pontiac, Saguenay, Laurentide-Onatchiway, and Northern Clay Forest Sections.[1]

Installation	Initial TV	5-year TV increment					
		C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha[†]					
Algonquin – Pontiac							
Quebec 23[#]	118	26.6[a]	30.3[ab]	31.7[ab]	35.4[b]	33.8[b]	35.3[b]
Saguenay							
Quebec 33	103	13.9[a]	15.3[a]	17.3[a]	17.0[a]	20.6[a]	21.3[a]
Laurentide – Onatchiway							
Quebec 31	228	23.5	25.1	28.6	32.2	31.1	28.1
Quebec 38	100	10.2	12.0	16.7	15.7	19.4	19.2
Quebec 39	73	11.7	14.6	17.5	21.8	19.5	19.9
Average [#]	134	15.1[a]	17.2[a]	20.9[ab]	23.2[b]	23.3[b]	22.4[ab]
Northern Clay							
Quebec 18	124	19.4	26.5	29.1	29.1	28.3	29.9
Quebec 19	150	18.1	21.7	24.9	25.7	26.9	24.1
Quebec 20	209	23.8	29.7	29.0	26.2	30.1	27.1
Average [#]	161	20.4[a]	26.0[ab]	27.7[b]	27.0[b]	28.4[b]	27.0[b]

† Conversion factors to English units are given in Appendix V.
# Means marked by the same letter do not differ significantly from each other.
[1] Date from J.-M. Veilleux and G. Sheedy, Quebec Department of Energy and Resources

Table 4. Initial total volume (TV) and 5-year increments in untreated and fertilized jack pine stands of the Missinaibi-Cabonga Forest Section.[1]

Installation	Initial TV	5-year TV increment					
		C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha†					
Quebec 10	207	25.4	34.8	43.2	43.6	39.1	35.3
Quebec 11	237	29.6	35.5	35.5	38.8	52.9	41.1
Quebec 26	123	15.2	18.7	20.4	24.3	23.3	22.9
Quebec 40	193	27.1	32.9	37.7	35.7	41.7	39.2
Ontario 3	163	17.5	25.9	25.8	27.8	26.3	25.5
Ontario 4	212	18.3	25.4	25.1	23.2	30.7	26.6
Ontario 5	246	21.8	32.2	26.0	28.7	29.6	28.4
Ontario 6	181	22.7	38.6	34.9	39.2	41.6	40.7
Ontario 7	161	26.9	32.1	39.6	40.5	43.8	43.7
Ontario 8	147	36.6	35.8	42.3	48.6	50.3	48.3
Ontario 9	106	28.0	33.3	38.8	42.8	41.1	38.9
Ontario 10	108	37.6	37.8	50.5	42.5	42.0	45.4
Average #	174	25.6[a]	31.9[ab]	35.0[b]	36.3[b]	38.5[b]	36.3[b]

† Conversion factors to English units are given in Appendix V.
# Means marked by the same letter do not differ significantly from each other.
[1] Quebec: Data from J.-M. Veilleux and G. Sheedy, Quebec Department of Energy and Resources.
Ontario: Data from J.D. Scott, Ontario Ministry of Natural Resources.

Table 5. Initial total volume (TV) and 5-year periodic increments in untreated and fertilized jack pine stands of the Upper English River and Mixedwood Sections.[1]

Installation	Initial TV	5-year TV increment					
		C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha[†]					
Upper English River							
Ontario 13	242	26.6	38.0	44.4	25.7	42.8	35.9
Ontario 14	246	22.5	30.7	33.5	35.0	43.4	38.2
Ontario 15	224	25.3	31.0	33.9	24.3	37.8	33.3
Ontario 16	190	25.7	29.9	26.6	32.0	33.9	32.3
Ontario 17	144	23.5	27.0	31.2	28.3	33.9	28.7
Ontario 18	131	18.0	30.1	37.1	36.2	32.7	37.9
Average [#]	196	23.6[a]	31.1[b]	34.4[bc]	30.2[b]	37.4[c]	34.4[bc]
Mixedwood							
Manitoba 1	235	23.4	28.4	29.1	24.7	31.2	24.7
Manitoba 2	202	18.5	21.7	29.6	24.7	22.2	27.3
Saskatchewan 2	233	15.8	17.6	18.9	20.8	21.1	21.7
Average [#]	223	19.2[a]	22.6[a]	25.9[a]	23.4[a]	24.8[a]	24.6[a]

† Conversion factors to English units are given in Appendix V.
[#] Means marked by the same letter do not differ significantly from each other.
[1] Ontario: Data from J.D. Scott, Ontario Ministry of Natural Resources.
Manitoba: Data from G. McColm, Manitoba Department of Renewable Resources and Transportation Services.
Saskatchewan: Data from J. Soos, Canadian Forestry Service, Northern Forest Research Centre.

Table 6. Forest Sections, age, site index and foliar nutrient concentrations of installation with black spruce and mixed jack pine and black spruce stands. (In the mixed stands foliar nutrient concentrations are given for black spruce).

Installation	Forest Section†	Stand age year	Site # Index	Foliage content				
				N	P	K	Ca	Mg
				percent				
Black Spruce								
Que. 8	B.7 Missinaibi-Cabonga	41	15.8	1.08	0.16	0.54	0.27	0.13
Que. 13	B.4 Northern Clay	57	12.8	1.04	0.17	0.61	0.28	0.11
Que. 14	B.4 Northern Clay	55	11.0	0.96	0.13	0.54	0.27	0.11
Que. 17	B.4 Northern Clay	55	12.8	0.98	0.15	0.45	0.29	0.12
Que. 21	B.4 Northern Clay	58	10.4	0.99	0.10	0.42	0.25	0.09
Que. 22	B.7 Missinaibi-Cabonga	45	13.4	1.07	0.13	0.49	0.47	0.14
Que. 25	B.7 Missinaibi-Cabonga	44	12.2	0.98	0.14	0.41	0.35	0.12
Que. 28	B.1a Laurentide-Onatchiway	72	10.7	0.99	0.12	0.50	0.28	0.10
Que. 30	B.1a Laurentide-Onatchiway	80	9.4	1.02	0.10	0.46	0.26	0.10
Que. 35	B.1a Laurentide-Onatchiway	47	7.6	0.96	0.10	0.35	0.41	0.10
Que. 36	B.1a Laurentide-Onatchiway	54	12.2	0.89	0.11	0.45	0.44	0.10
Que. 37	B.1a Laurentide-Onatchiway	65	13.4	0.91	0.12	0.49	0.39	0.11
Ont. 1	B.4 Northern Clay	51	14.6	0.85	0.13	0.50	Not avail-	
Ont. 2	B.4 Northern Clay	56	14.6	0.80	0.12	0.51	able	
Ont. 11	B.4 Northern Clay	75	10.1					
Ont. 12	B.4 Northern Clay	70	10.7					
Man. 5	B.18a Mixedwood	68	13.7					
Man. 6	B.18a Mixedwood	65	11.3			Not available		
Man. 7	B.18a Mixedwood	80	10.1					
Man. 8	B.18a Mixedwood	57	10.4					
Sask. 3	B.18a Mixedwood	80	10.7					
Jack Pine – Black Spruce								
Que. 15	B.4 Northern Clay	56	12.8	1.02	0.18	0.64	0.26	0.12
Que. 24	B.7 Missinaibi-Cabonga	40	18.3	1.08	0.09	0.36	0.22	0.08
Que. 32	B.1a Laurentide-Onatchiway	47	15.2	1.10	0.11	0.47	0.36	0.11
Man. 3	B.18a Mixedwood	62	11.6					
Man. 4	B.18a Mixedwood	62	12.2					
Sask. 1	B.18a Mixedwood	85	9.1			Not available		
Sask. 5	B.18a Mixedwood	85	9.1					

† As defined by Rowe (1972).
# Height in metres at age 50.

Table 7. Initial total volume (TV) and 5-year periodic increments in untreated and fertilized black spruce stands of the Laurentide-Onatchiway and Northern Clay Forest Sections.[1]

Installation	Initial TV	5-year increment					
		C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		$m^3/ha^{\dagger}$					
Laurentide-Onatchiway							
Quebec 28	219	23.2	23.8	27.3	22.6	23.8	26.3
Quebec 30	161	16.1	22.1	20.5	21.3	23.7	18.0
Quebec 35	145	20.0	25.4	22.8	28.4	24.6	29.5
Quebec 36	123	13.3	22.6	23.4	22.9	15.8	23.9
Quebec 37	281	20.9	20.8	24.1	25.2	26.1	21.4
Average *	187	18.7[a]	22.9[b]	23.6[b]	24.1[b]	22.8[b]	23.8[b]
Northern Clay							
Quebec 13	232	21.1	28.6	26.5	30.5	27.7	24.6
Quebec 14	142	21.8	25.0	25.4	22.4	22.3	22.5
Quebec 17	90	14.8	17.3	18.8	17.7	17.7	15.4
Quebec 21	109	23.9	26.2	28.4	30.7	22.2	28.1
Ontario 1	229	31.5	28.2	23.7	30.9	30.1	22.2
Ontario 2	272	37.3	35.8	33.7	38.8	29.7	33.9
Ontario 11	284	24.8	20.2	22.4	16.8	29.4	27.2
Ontario 12	543	30.3	36.0	33.4	31.6	27.8	33.9
Average *	238	25.7[a]	27.2[a]	26.5[a]	27.4[a]	25.9[a]	26.0[a]

† Conversion factors to English units are given in Appendix V.
* Means marked by the same letter do not differ significantly from each other.
[1] Quebec: Data from J.-M. Veilleux and G. Sheedy, Quebec Department of Energy and Resources
Ontario: Data from J.D. Scott, Ontario Ministry of Natural Resources.

Table 8. Initial total volume (TV) and 5-year periodic increments in untreated and fertilized black spruce stands of the Missinaibi-Cabonga and Mixedwood Forest Sections.[1]

Installation	Initial TV	5-year TV increment					
		C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha†					
Missinaibi-Cabonga							
Quebec 8	207	19.9	24.4	23.3	25.3	16.9	26.4
Quebec 22	116	12.8	14.8	12.0	15.4	13.4	13.8
Quebec 25	111	18.0	22.6	19.3	25.7	22.7	21.2
Average #	145	16.9[a]	20.6[b]	18.2[b]	22.1[b]	17.7[ab]	20.5[b]
Mixedwood							
Manitoba 5	205	22.3	25.9	25.1	26.5	22.8	26.2
Manitoba 6	308	21.6	25.4	23.8	23.9	25.2	24.5
Manitoba 7	202	25.3	27.1	30.4	27.0	25.3	27.7
Manitoba 8	359	26.2	23.3	22.4	25.8	26.5	28.6
Saskatchewan 3	300	27.9	32.4	33.6	36.6	32.5	36.2
Average #	261	24.7[a]	26.8[a]	27.0[a]	28.0[a]	26.5[a]	28.7[a]

† Conversion factors to English units are given in Appendix V.
# Means marked by the same letter do not differ significantly from each other.
[1] Quebec: Data from J.-M. Veilleux and G. Sheedy, Quebec Department of Energy and Resources.
Manitoba: Data from G. McColm, Manitoba Department of Renewable Resources and Transportation Services.
Saskatchewan: Data from J. Soos, Canadian Forestry Service, Northern Forest Research Centre.

Table 9. Initial total volume (TV) and 5-year periodic increments of installations with mixed stands of jack pine and black spruce.[1]

Installation	Initial TV	5-year increment					
		C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha†					
Laurentide – Onatchiway							
Quebec 32#	126	20.3[a]	24.1[a]	24.2[a]	29.6[a]	26.7[a]	27.8[a]
Northern Clay							
Quebec 15	228	26.6[a]	35.3[a]	36.5[a]	32.8[a]	35.0[a]	32.4[a]
Missinaibi – Cabonga							
Quebec 24	153	29.3[a]	35.5[a]	35.9[a]	36.9[a]	39.7[a]	39.0[a]
Mixedwood							
Manitoba 3	156	12.7	18.5	19.2	24.6	24.1	24.7
Manitoba 4	218	17.5	26.5	24.0	27.4	26.1	24.1
Saskatchewan 1	199	20.7	23.9	33.1	38.1	38.8	39.6
Saskatchewan 5	214	18.7	24.0	40.8	31.2	32.8	34.5
Average #	197	17.4[a]	23.2[ab]	29.3[bc]	27.8[bc]	30.5[c]	30.7[c]

† Conversion factors to English units are given in Appendix V.
# Means marked by the same letter do not differ significantly from each other.
[1] Quebec: Data from J.-M. Veilleux and G. Sheedy, Quebec Department of Energy and Resources.
Manitoba: Data from G. McColm, Manitoba Department of Renewable Resources and Transportation Services.
Saskatchewan: Data from J. Soos, Canadian Forestry Service, Northern Forest Research Centre.

Table 10. Relative total volume increments (5-year period) by species and treatments in mixed black spruce and jack pine stands. Averages from two installations (Manitoba 3 and Saskatchewan 1) with significant treatment effects.

Treatment	Increment (% of initial total volume)			
	Total		Above Control	
	bs	jp	bs	jp
Control	10.8	8.9	—	—
N	13.3	12.6	2.5	3.7
2N	13.6	19.6	2.8	10.7
2N + P	19.3	20.3	8.5	11.4
2N + K	20.8	20.7	10.0	11.8
2N + PK	17.7	18.9	6.9	10.0

Table 11. Forest Sections, age, site index, and foliar nutrient concentrations of white spruce, red spruce, and balsam fir installations.

Installation	Forest Section†	Stand age	Site Index*	Foliage content				
		year		N	P	K	Ca	Mg
				percent				
White Spruce								
Nova Scotia 2	A.7 Cape Breton-Antigonish	35	17.4	not available				
New Brunswick 1	A.9 Fundy Coast	45	15.2	1.31	0.20	0.71	0.42	0.16
New Brunswick 2	A.9 Fundy Coast	45	15.2	1.22	0.19	0.65	0.38	0.11
Alberta 1	B.18a Mixedwood	90	16.8	1.01	0.16	0.59	0.89	0.11
Alberta 2	B.18a Mixedwood	50	14.6	0.89	0.16	0.56	0.90	0.15
Alberta 3	B.18a Mixedwood	84	15.2	not available				
Red Spruce								
Nova Scotia 1	A.12 Central Lowlands	55	14.3					
Nova Scotia 4	A.9 Fundy Coast	50	13.4	not available				
Nova Scotia 5	A.11 Atlantic Uplands	62	12.5					
Balsam Fir								
Nova Scotia 3	A.6 Cape Breton Plateau	50	12.8					
Quebec 1	B.2 Gaspe	50	13.7	1.26	0.18	0.62	0.46	0.13
Quebec 2	B.2 Gaspe	45	13.7	1.18	0.19	0.62	0.45	0.12
Quebec 3	B.2 Gaspe	59	10.7	1.15	0.19	0.64	0.42	0.13
Quebec 4	B.2 Gaspe	61	10.7	1.19	0.20	0.64	0.38	0.13
Quebec 5	B.2 Gaspe	59	10.7	1.13	0.17	0.57	0.44	0.12
Quebec 6	B.2 Gaspe	62	10.7	1.21	0.18	0.65	0.49	0.15
Quebec 7	L.6 Temiscouata-Restigouche	56	12.2	1.19	0.17	0.59	0.34	0.12
Quebec 9	B.7 Missinaibi-Cabonga	46	15.2	1.56	0.14	0.48	0.45	0.14
Quebec 12	Timagami	50	12.8	1.51	0.19	0.67	0.55	0.18
Quebec 16	B.4 Northern Clay	59	12.2	1.28	0.16	0.48	0.53	0.14
Quebec 27	B.1a Laurentide-Onatchiway	47	15.8	1.34	0 12	0.42	0.47	0.10
Quebec 29	B.1a Laurentide-Onatchiway	46	14.9	1.44	0.14	0.52	0.50	0.12
Quebec 34	B.1a Laurentide-Onatchiway	51	15.8	1.15	0.12	0.53	0.56	0.11

† As defined by Rowe (1972).
* Height in metres at age 50.

Table 12. Initial total volume (TV) and 5-year periodic increments in white and red spruce stands with and without fertilizer treatments.[1]

Installation	Initial TV	5-year increment					
		C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha[†]					
White Spruce							
Cape Breton-Antigonish							
Nova Scotia 2[#]	246	47.4[a]	39.0[a]	45.5[a]	52.3[a]	42.2[a]	45.4[a]
Fundy Coast							
New Brunswick 1	209	13.0	14.3	15.4	17.0	17.1	12.6
New Brunswick 2	171	15.0	16.0	15.2	17.8	16.5	15.9
Average	190	14.0[a]	15.2[a]	15.3[a]	17.4[a]	16.8[a]	14.3[a]
Mixedwood							
Alberta 1	410	33.4	44.7	47.9	38.0	37.9	35.7
Alberta 2	291	36.7	40.5	43.8	38.0	42.7	34.7
Alberta 3	211	34.5	39.9	49.2	48.7	46.5	50.7
Average	304	34.9[a]	41.7[a]	47.0[b]	41.6[a]	42.4[a]	40.4[a]
Red Spruce							
Central Lowlands							
Nova Scotia 1	292	28.0[a]	39.2[a]	38.9[a]	27.1[a]	36.0[a]	34.6[a]
Fundy Coast							
Nova Scotia 4	297	12.6[a]	17.2[ab]	18.7[b]	14.0[a]	16.8[ab]	19.6[b]
Atlantic Uplands							
Nova Scotia 5	202	28.6[a]	29.8[a]	26.7[a]	26.5[a]	30.5[a]	30.1[a]

† Conversion factors to English units are given in Appendix V.
# Means marked by the same letter do not differ significantly from each other.
1 Nova Scotia: Data from V. Timmer, Canadian Forestry Service, Maritime Forest Research Centre.
New Brunswick: Data from S. J. Hoyt, New Brunswick Department of Natural Resources.
Alberta: Data from E. Ritcey, Alberta Energy and Natural Resources.

Table 13. Initial total volume (TV) and 5-year periodic increments in balsam fir stands and a trembling aspen stand with and without fertilizer treatments.

Installation	Initial TV	5-year increment					
		C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		$m^3/ha^\dagger$					
Balsam fir							
Cape Breton Plateau							
Nova Scotia 3[#]	228	25.0[a]	21.9[a]	27.1[a]	31.1[a]	31.8[a]	26.5[a]
Gaspé							
Quebec 1	310	31.6	37.9	39.6	47.3	47.1	43.8
Quebec 2	259	30.9	33.7	34.0	32.6	41.4	38.8
Quebec 3	235	32.0	37.4	39.6	36.5	38.3	37.5
Quebec 4	276	26.0	29.0	36.8	33.5	34.3	29.4
Quebec 5	237	34.8	45.4	45.1	52.4	43.4	51.0
Quebec 6	243	32.1	46.9	47.6	40.6	41.5	46.6
Average [#]	260	31.2[a]	38.4[ab]	40.5[b]	40.5[b]	41.0[b]	41.2[b]
Temiscouata-Restigouche							
Quebec 7	261	32.6[a]	30.4[a]	28.8[a]	34.7[a]	34.8[a]	31.5[a]
Laurentide-Onatchiway							
Quebec 27	276	31.5	37.7	40.2	32.2	36.3	31.4
Quebec 29	239	31.5	35.4	37.7	40.4	40.1	40.2
Average [#]	258	31.5[a]	33.5[a]	38.7[b]	36.3[a]	38.2[b]	35.8[ab]
Northern Clay							
Quebec 16	144	21.1[a]	29.4[a]	36.8[a]	32.7[a]	38.8[a]	34.2[a]
Missinaibi-Cabonga							
Quebec 9	178	26.8[a]	27.4[a]	28.2[a]	27.6[a]	32.5[a]	33.1[a]
Timagami							
Quebec 12	145	18.5	18.8[a]	26.9[a]	28.8[a]	26.9[a]	24.1[a]
Trembling Aspen							
Saskatchewan 4	145	33.5[a]	35.6[a]	49.3[ab]	50.1[ab]	59.4[b]	70.8[b]

† Conversion factors to English units are given in Appendix V.
[#] Means marked by the same letter do not differ significantly from each other.
[1] Nova Scotia: Data from V. Timmer, Canadian Forestry Service, Maritime Forest Research Centre.
Quebec: Data from J.-M. Veilleux and G. Sheedy, Quebec Department of Energy and Resources.

Table 14. Tree mortality and ingrowth of small diameter trees into the merchantable volume fraction during the first 5 years after treatments.

Species	Mortality						Ingrowth					
	C	N	2N	2N+P	2N+K	2N+PK	C	N	2N	2N+P	2N+K	2N+PK
	$m^3/ha^\dagger$						$m^3/ha^\dagger$					
Jack pine	8.9	8.5	8.3	8.5	8.4	10.4	3.1	3.6	3.7	4.5	3.9	4.0
Black spruce	11.9	18.7	15.1	21.3	17.9	16.8	2.6	2.7	2.1	2.7	2.4	2.6
Jack pine/ Black spruce	5.2	6.7	10.7	10.6	5.6	8.7	2.4	2.9	2.8	3.3	3.0	3.4
White spruce	29.5	28.2	25.1	24.1	26.1	23.1	1.2	1.5	1.9	2.1	0.5	0.6
Red spruce	7.2	10.3	26.9	27.0	9.2	23.0	0.0	0.5	0.8	0.4	0.9	0.6
Balsam fir	17.5	15.0	13.4	13.6	17.6	19.2	3.6	3.7	3.9	3.1	4.0	4.4
Trembling aspen	9.2	7.4	9.7	5.8	6.4	15.2	4.5	2.5	10.4	11.8	5.1	6.3

† Conversion factors to English units are given in Appendix V.

References

Armson, K.A. 1972. Fertilizer distribution and sampling techniques in the aerial fertilization of forests. Univ. Toronto, Fac. Forestry Tech. Rep. No. 11, 28 p.

Armson, K.A., Krause H.H., and Weetman, G.F. 1975. Fertilization response in the northern coniferous forest. Pages 449-446 *in* Bernier, B., and Winget, C.H., editors. Forest Soils and Forest Land Management. Proc. Fourth North American Forest Soils Conference, Laval University, Quebec, Aug. 1973. Les Presses de l'Universite Laval, Quebec.

Bengtson, G.W. 1976. Fertilizers in use and under evaluation in silviculture: A status report. XVI IUFRO World Congr. Proc.

Bernier, B., Brazeau, M., and Winget, C.H. 1972. Gaseous loss of ammonia following urea application in a balsam fir forest. Can. J. Forest Res. 2:79-82.

Brantseg, A. 1967. Skogsgodsling pa fastmark. Skogsgodsl. Nya Vetenskalp. Ron 9:3-22.

Brazeau, M. 1979. Incidence de la fertilisation sur la nutrition et la croissance du sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.) en forêt naturelle. Ph.D. Thesis, Univ. Laval, Cité Universitaire, Québec.

Camire, C. 1980. Fertilisation azotée en forêt de pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.). Ph.D. Thesis. Univ. Laval. Cité Universitaire, Québec.

Canadian Forestry Service. 1973. Interprovincial forest fertilization program. Progress report 1969/72. Publ. No. 1319, 19 p., Ottawa.

Carrier, D., and Bernier, B. 1971. Pertes d'azote par volatilisation ammoniacale après fertilisation en forêt de pin gris. Can. J. Forest Res. 1:69-79.

Evert, F. 1976. Back to the basics. For. Chron. 52:171.

Foster, N.W. 1979. The importance of chemical reactions and microbial activity in immobilizing urea nitrogen in jack pine humus. Ph. D. Thesis, University of Guelph, Guelph, Ont.

Foster, N.W., and Morrison, I.K. 1976. Distribution and cycling of nutrients in a natural *Pinus banksiana* ecosystem. Ecology 57:110-120.

Gagnon, J.D., Roberge, M., Truong dinh Phu, et Swan, H.S.D. 1979. Effets de la fertilisation, après 10 ans, sur la croissance et le milieu d'une sapinière naturelle de 60 ans au nord-est du Québec. Serv. can. for., Centre rech. for. Laurentides, Ste-Foy, Que. Rapp. d'inf. LAU-X-36.

Glew, D.R. 1974. Productivity – the key to forest management. *In:* Intensive Forestry: A case for optimism. Proc. 65th Western Forestry Conference, Spokane, WA. 5-6 December, 1974.

Harrington, C.A., and Miller, R.E. 1979. Response of a 100 year-old Douglas-fir stand to urea and ammonium nitrate fertilization. Pac. Northwest For. Rang. Exp. Stn. Research Note 336.

Honer, T.G. 1967. Standard volume tables and merchantable conversion factors for the commercial tree species of central and eastern Canada. Can. Dep. For. and Rural Dev., For. Branch., Inf. Rep. FMR-X-5.

Hoyt, J.S. 1973. Growth increases after fertilization in mature jack pine and balsam fir stands. New Brunswick Dep. Natural Resources. For. Branch. 81 p.

Jonsscn, S. 1977. Results from the 10-year-old series of trials with high doses of nitrogen fertilization (Swedish with English summary). Förenigen Skogsträdsförädling och institutet för Skogsförbättring. Årsbok 1977, p. 79-128.

Jonsson, S., and Moller, G. 1976. Fertilization and thinning effects in overstocked pine stands. (Swedish with English summary). Föreningen Skogsträdsförädling och institutet för Skogsförbättring, Årsbok 1976, p. 62-116.

Krause, H.H. 1981. Factorial experiments with nitrogen, phosphorus, and potassium in spruce and fir stands of New Brunswick: 10-year results. Can. For. Serv., Maritime For. Res. Cent., Inf. Rep. M-X-123, 27 p.

Krause, H.H., Weetman, G.F., and Arp, P.A. 1978. Nutrient cycling in boreal forest ecosystems. Pages 287-319 *in* C.T. Youngberg, editor. Forest Soils and Land Use. Proc. Fifth North American Forest Soils Conference, Colorado State University, Ft. Collins, Colorado, Aug. 1978.

Leech, R.H. 1969. Response of a jack pine plantation to urea and potash fertilizers. Ont. Dep. Lands and Forests Res. Rep. No. 88, 44 p.

Mahendrappa, M.K., and Ogden, E.D. 1973. Patterns of ammonia volatization from a forest soil. Plant and Soil 38:257-265.

Mahendrappa, M.K. 1978. Changes in the organic layers under a black spruce stand fertilized with urea and triple super-phosphate. Can. J. Forest Res. 8:237-242.

Malm, D., and Moller G. 1974. Differences in volume growth increase after fertilization with urea and ammonium nitrate fertilizer (Swedish with English summary). Föreningen Skogsträdsförädling och institutet för Skogsförbättring. Årsbok, 1974, p. 75-97.

Morrison, I.K., and Foster, N.W. 1977. Fate of urea fertilizer added to a boreal forest (*Pinus banksiana* Lamb.) stand. Soil Sci. Soc. Am. J. 41:441-448.

Morrison, I.K., and Foster, N.W. 1979. Five-year growth in two nitrogen-phosphorus fertilization experiments in spruce and spruce-fir upland forest in northern Ontario. Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent. Inf. Rep. 0-X-299. 15 p.

Morrison, I.K., Hegyi, F., Foster, N.W., Winston, D.A., and Tucker, T.L. 1976*a*. Fertilizing semimature jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.) in northwestern Ontario: Fourth year results. Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent. Rep. 0-X-240.

Morrison, I.K., Winston, D.A., and Foster, N.W. 1976*b*. Urea dosage trial in semimature jack pine forest, Chapleau, Ontario: Fifth-year results. Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., Inf. Rep. 0-X-251. 8 p.

Morrison, I.K., Winston, D.A., and Foster, N.W. 1977*a*. Effect of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers on growth of semimature jack pine forest, Chapleau, Ontario: Fifth-year results. Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., Inf. Rep. 0-X-258. 12 p.

Morrison, I.K., Winston, D.A., and Foster, N.W. 1977*b*. Effect of nitrogen and low thinning on growth of semimature jack pine forest, Chapleau, Ontario: Fifth-year results. Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., Inf. Rep. 0-X-267. 10 p.

Nadeau, J.P. 1977. La fertilisation aerienne des forêts, un investissement rentable. Experience avec le pin gris en Mauricie, Québec. Ministère des Terres et Forêts du Québec. Serv. rech., Memoire No. 35.

Overrein, L.N. 1970. Tracer studies on nitrogen immobilization-mineralization relationships in forest raw humus. Plant and Soil 21:478-500.

Plonski, W.L. 1974. Normal yield tables (metric) for major forest species of Ontario. Ont. Ministry of Natural Resources, Toronto, Ontario.

Reed, F.L.C. 1979. Realizing the economic potential of Canada's forest resource. For. Chron. 55:217-221.

Rennie, P.J. 1972. Forest fertilization in Canada. Seventh World Forestry Congress, Buenos Aires, 1972.

Rennie, P.J. 1978. Utilization of soils of the boreal for forest production. Proc. 11th Intern. Congress of Soil Science 3:305-331. Edmonton, Alberta.

Roberge, M.R., and Gagnon, J.D. 1974. Étude d'un épandage aerien d'urée en forêt. Can. J. Forest Res. 4:432-490.

Roberge, M.R., and Knowles, R. 1966. Ureolysis, immobilization, and nitrification in black spruce (*Picea mariana* MILL) humus. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30:201-204.

Rosvall, O. 1979. Prognosfunktioner för beräkning ar godslings-effekter. Föreningen skogsträdsförädling och institutet för Skogsförbättring, Årsbok 1979.

Rowe, J.S. 1972. Forest regions of Canada. Can. For. Serv., Dept. Environ. Publ. No. 1300, 1972 p.

Scheffe, H. 1959. The analysis of variance. John Wiley and Sons, Inc., New York.

Sheedy, G. 1977. Évaluation des dommages causes par la tordeuses des bourgeons de l'épinette dans des dispositifs de fertilisation établis dans des peuplements de sapin et d'épinette. Ministère des Terres et Forêts du Québec, Serv. rech., M.T.F. Rapp. interne No. 176, 21 p.

Snedecor, G.W., and Cochran, W.G. 1967. Statistical methods. The Iowa State University Press, Ames, Iowa.

Swan, H.S.D. 1970. Relationship between nutrient supply, growth, and nutrient concentrations in the foliage of black spruce and jack pine. Pulp Pap. Res. Inst. Can., Woodlands Pap. 19. 46 p.

Timmer, V.R. 1979. Foliar diagnosis of nutrient status and growth response in forest trees. Ph.D. Thesis, Cornell University, Ithaca, New York.

Timmer, V.R., and Morrow, L.D. 1980. Preliminary growth response and foliar diagnosis of fertilized jack pine and black spruce plantations in the Lake Nipigon-Beardmore Area. Fac. Forestry, Univ. Toronto, Mimeo. 23 p.

Timmer, V.R., and Stone, E.L. 1978. Comparative foliar analysis of young balsam fir fertilized with nitrogen, phosphorus, potassium, and lime. Soil Sci. Soc. Am. J. 42:125-130.

Timmer, V.R., Stone, E.L., and Embree, D.G. 1977. Growth response of young balsam fir fertilized with nitrogen, phosphorus, potassium, and lime. Can. J. Forest Res. 7:441-447.

Tucker, T.L. 1974. What is it worth? An economic evaluation of fertilizer trials in jack pine at Dryden, Ontario. Proc. Workshop on Forest Fertilization in Canada, p. 39-45. Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., For. Tech. Rep. No. 5.

Van Nostrand, R.S. 1979. Growth response to black spruce in Newfoundland to N, P, and K fertilization. For. Chron. 55:189-193.

Veilleux, J.-M., and Sheedy, G. 1977. Essai operationnel de fertilisation aerienne de peuplements de pin gris dans la Mauricie. Ministère des Terres et Forêts du Québec, Serv. rech. Memoire No. 41. 137 p.

Vezina, P.E., and Linteau, A. 1968. Growth and yield of balsam fir and black spruce in Quebec. Can. Min. For. Rural Dev., Forest Res. Lab. Que. Reg., Inf. Rep. 0-X-2.

Viro, P.J. 1972. Die Walddüngung auf Finnischen Mineralböden. Folia For. 138. 19 p., Helsinki.

Weetman, G.F. 1968. The nitrogen fertilization of three black spruce stands. Pulp Pap. Res. Inst. Can., Woodlands Pap. 6.

Weetman, G.F. 1975. Ten-year growth response of black spruce to thinning and fertilization treatments. Can. J. Forest Res. 5:302-309.

Weetman, G.F., and Algar, D. 1974. Jack pine nitrogen fertilization and nutrition studies: Three year results. Can. J. Forest Res. 4:381-398.

Weetman, G.F., Krause, H.H., and Koller, E. 1976. Interprovincial forest fertilization program. Results of five-year growth remeasurements in thirty installations: Fertilized in 1969, remeasured in 1974. Can. For. Serv., Tech. Rep. 16, Ottawa. 34 p.

Weetman, G.F., Roberge, M., and Meng, C.H. 1980. Black spruce thinning and fertilization: 15-year growth and humus microbiological responses. Can. J. Forest Res. 10:502-509.

Appendices

Appendix I. Forest cover and some site characteristics at experimental locations.

Installation	Forest* Cover	Ground* Cover	Slope** Class	Soil Parent Material		Drain-** age Class	Root-ing Depth cm
				Origin	Texture#		
Nova Scotia 1	rS8, bF2	FM9	2	ablation till	saL	2	41
Nova Scotia 2	wS9	FM2, 08	2	fluvio-glacial	saL	1	61
Nova Scotia 3	bF9, wS1	FM9	2	basal till	siL, clL	3	33
Nova Scotia 4	rS9	none	1	basal till	fSa, lSa	2	36
Nova Scotia 5	rS8, bF1	FM9, SM1	1	basal till	saL	2	33
New Brunswick 1	wS9	FM7	2	basal till	saL	2	48
New Brunswick 2	wS9	FM8	2	basal till	saL	2	48
Quebec 1	bF8	FM8, G2	1	basal till	saL	3	33
Quebec 2	bF5, wS1	FM8, E2	1	ablation till	saL	2/3	30
Quebec 3	bF7, wS1	FM7, H1	3	ablation till	saL	2	30
Quebec 4	bF6, bS1	FM9	1	ablation till	vfSa, L	2	30
Quebec 5	bF7, bS1	FM9	2	basal till	saL	3	30
Quebec 6	bF8	FM8	3	basal till	saL	2	46
Quebec 7	bF7, bS1	FM9	1	fluvio-glacial	fSa, lSa	2	30
Quebec 8	bS6	E3, FM1	2	fluvio-glacial	sa, fSa	2	22
Quebec 9	bF7, wB1	H1	2	fluvio-glacial	fSa, lSa	2	15
Quebec 10	jP5, bS1	E3, FM2	1	lacustrine	siL, clL	4/5	15
Quebec 11	jP4, wB3	H1, E1	3	fluvio-glacial	Sa, fSa	2	20
Quebec 12	bF4, bS2	FM1, H1	2	fluvio-glacial	fSa, lSa	2/3	15
Quebec 13	bS7, jP1	FM2, SM1	1	lacustrine	Si, clL	4	18
Quebec 14	bS6	E2, FM1	2	lacustrine	Si, clL	4	18
Quebec 15	bS5, jP3	FM1	2	lacustrine	siL, clL	4/5	23
Quebec 16	bF4, wB3	FM2, SM1	1	lacustrine	siCl, Cl	3/4	20
Quebec 17	bS5	FM3, E2	2	fluvio-glacial	Sa, fSa	4	25
Quebec 18	jP5, bS1	E2, Cla1	1	fluvio-glacial	Sa, fSa	2	23
Quebec 19	jP6	E2, FM1	1	fluvio-glacial	Sa, fSa	2	30
Quebec 20	jP8	H1, E1	2	fluvio-glacial	fSa, lSa	3	20
Quebec 21	bS6	E2, SM1	2	peat	–	5	30
Quebec 22	bS6	E3, FM1	2	fluvio-glacial	Sa, fSa	2	22
Quebec 23	jP7	E2, FM1	1	fluvio-glacial	fSa, lSa	2	25
Quebec 24	jP4, bS4	E1, FM1	2	fluvio-glacial	Sa, fSa	2	25
Quebec 25	bS6	E3, FM1	3	fluvio-glacial	saL	2/3	15
Quebec 26	jP6	E2, FM1	1	fluvio-glacial	Sa, fSa	1	18
Quebec 27	bF8	FM2, H1	3	basal till	Sa, fSa	3	20
Quebec 28	bS6, bF2	FM2	3	basal till	Sa, cSa	3	30
Quebec 29	bF8	FM2	3	ablation till	L, clL	3	8
Quebec 30	bS8	FM2, SM1	1	fluvio-glacial	Sa, fSa	4	20
Quebec 31	jP6	E2, FM1	1	fluvio-glacial	Sa, cSa	1	20
Quebec 32	jP4, bS5	FM9, E8	1	fluvio-glacial	Sa, fSa	1	33
Quebec 33	jP9	FM9, E8	1	fluvio-glacial	Sa, cSa	1	30
Quebec 34	bF9	FM9, H1	3	basal till	Sa, fSa	2	30
Quebec 35	bS9	FM9	1	fluvio-glacial	Sa, fSa	2	15
Quebec 36	bS9	E8, FM9	1	basal till	Sa, fSa	2	15
Quebec 37	bS9	FM9	3	ablation till	Sa, fSa	2	15
Quebec 38	jP9	E8, Cla7	1	fluvio-glacial	Sa, cSa	1	25
Quebec 39	jP9	Cla9, E9	1	fluvio-glacial	Sa, fSa	1	33
Quebec 40	jP9, bS1	E5, FM6	1	fluvio-glacial	Sa, cSa	1	51

Appendix I (continued)

Installation	Forest* Cover	Ground* Cover	Slope** Class	Soil Parent Material		Drain-** age Class	Root-ing Depth cm
				Origin	Texture#		
Ontario 1	bS5, jP1	H9, FM5	1	basal till	siCl, Cl	4	5
Ontario 2	bS4, jP2	FM8, H1	2	basal till	siCl, Cl	3	10
Ontario 3	jP6	FM7, E2	1	fluvic-glacial	Sa, fSa	1	–
Ontario 4	jP6	FM9, E8	1	fluvio-glacial	Sa, cSa	1	–
Ontario 5	jP8	FM9, E6	3	lacustrine	Sa, cSa	1	–
Ontario 6	jP6	E9, FM7	1	fluvio-glacial	Sa, fSa	1	–
Ontario 7	jP8	E8, FM8	2	fluvio-glacial	Sa, fSa	1	36
Ontario 8	jP8	E9, FM7	1	fluvio-glacial	Sa, fSa	1	28
Ontario 9	jP7	E8	1	fluvio-glacial	fSa, lSa	1	36
Ontario 10	jP3	E2	1	fluvio-glacial	fSa, lSa	1	33
Ontario 11	bS6	FM9, H6	1	lacustrine	siCl, Cl	5	8
Ontario 12	bS5	FM9, H7	1	lacustrine	siCl, Cl	3	10
Ontario 13	jP4	FM9, E2	1	fluvio-glacial	Sa, fSa	2	41
Ontario 14	jP4	FM9, E4	2	fluvio-glacial	lSa, fSa	1	28
Ontario 15	jP5	FM9, H5	2	fluvio-glacial	Sa, cSa	1	23
Ontario 16	jP5	FM9, E3	2	fluvio-glacial	Sa, fSa	1	25
Ontario 17	jP8, wB1	FM7, E2	2	fluvio-glacial	Sa, cSa	1	51
Ontario 18	jP5	FM9, E3	1	fluvio-glacial	Sa, cSa	1	20
Manitoba 1	jP9, bS1	FM8, SM1	1	ablation till	fSa, lSa	3	46
Manitoba 2	jP9, bS1	FM8, H2	1	ablation till	Sa, cSa	3	46
Manitoba 3	jP8, bS2	FM7, Cla3	1	ablation till	Sa, cSa	1	46
Manitoba 4	jP8, bS2	FM8, H1	1	ablation till	Sa, cSa	1	46
Manitoba 5	bS9	FM7, SM3	1	ablation till	siCl, Cl	3	38
Manitoba 6	bS9	FM8	1	ablation till	siCl, Cl	3	38
Manitoba 7	bS6	FM9, H1	2	ablation till	siCl, Cl	3	38
Manitoba 8	bS6	SM8, H1	1	muck	–	6	30
Saskatchewan 1	jP6, bS4	Cla, FM	1	fluvio-glacial	Sa, fSa	2	30
Saskatchewan 2	jP9	FM9, H1	1	reworked till	Sa, fSa	2	48
Saskatchewan 3	bS9	FM9, Cla	1	lacustrine	siCl, saL	4	23
Saskatchewan 4	A8, bPo2	G3, H4	1	ablation till	saL	3	30
Saskatchewan 5	jP6, bS4	Cla, FM	1	fluvio-glacial	Sa, fSa	2	30
Alberta 1	wS9	SM5, H4	1	lacustrine	siL, clL	3	60
Alberta 2	wS6, A3	FM7, H2	1	fluvio-glacial	saL	3	71
Alberta 3	wS9	FM8, H1	1	lacustrine	Sa, fSa	3/4	20

* Species abbreviations: Jack pine – jP, black spruce – bS, white spruce – wS, red spruce – rS, balsam fir – bF, trembling aspen – A, balsam poplar – bPo, white birch – wB, feather mosses – FM, sphagnum mosses – SM, broad leaf herbs – H, ericaceous shrubs – E, grasses – G, Cladonia – Cla.
Numerals following species indicate the fractions (tenths) of canopy or ground cover.

** Slope classes: 1 – level to very gentle slopes (<5%), 2 – gentle to moderate slopes (6-15%), 3 – strong slopes (16-30%).

\# Texture notations: Sand – Sa, coarse sand – cSa, fine sand – fSa, very fine sand – vfSa, loamy sand – lSa, loam – L, sandy loam – saL, silt – Si, silt loam – siL, clay – Cl, clay loam – clL, silty clay – siCl

\#* Drainage classes as defined in: Manual for describing soils in the field, p. 38-39. Canada Soil Survey Committee, 1978 revised. Land Resources Research Institute, Agriculture Canada, Ottawa, Ont.

Appendix II. Five-year periodic growth and fertilization response in individual installations of the interprovincial program

Installation	Stand parameter	Untreated stand			Response				
		initial	final	increment	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Nova Scotia 1	dbh	13.7	14.2	0.5					
	BA	43.6	47.1	3.5	1.4	1.5	0.0	1.0	1.0
	TV	292.0	320.0	28.0	11.2	10.9	-0.9	8.0	6.6
	MV	254.0	281.0	27.0	8.7	10.7	-1.3	6.9	6.2
Nova Scotia 2	dbh	12.1	12.9	0.8					
	BA	47.1	54.0	6.9	-1.2	-0.1	0.7	-0.8	-0.3
	TV	246.2	293.5	47.4	-8.4	-1.9	4.9	-5.2	-2.0
	MV	185.1	231.9	46.8	-8.3	-0.8	5.2	-5.8	-1.7
Nova Scotia 3	dbh	14.4	15.1	0.7					
	BA	40.0	44.0	3.8	-0.3	0.4	1.1	1.2	0.6
	TV	228.0	253.0	25.0	-3.1	2.1	6.1	6.8	1.5
	MV	195.6	220.3	24.7	-4.0	1.5	5.7	5.3	0.0
Nova Scotia 4	dbh	12.8	12.9	0.1					
	BA	46.3	47.9	1.6	0.6	0.8	0.1	0.6	0.9
	TV	297.1	309.6	12.6	4.6	6.2	1.4	4.2	7.0
	MV	244.0	256.3	12.2	5.5	6.0	1.2	3.8	7.8
Nova Scotia 5	dbh	11.6	12.1	0.5					
	BA	33.7	37.6	3.9	0.1	-0.2	-0.2	0.3	1.3
	TV	202.3	230.9	28.6	1.2	-1.9	-2.1	1.9	10.5
	MV	155.8	183.6	27.8	0.8	-1.3	-0.5	4.9	11.3
New Brunswick 1	dbh	15.4	15.8	0.4					
	BA	34.7	36.5	1.8	0.2	0.3	0.6	0.6	-0.1
	TV	209.0	222.0	13.0	1.3	2.6	4.0	4.1	-0.4
	MV	187.0	199.0	13.0	1.2	2.3	3.6	4.0	-0.6
New Brunswick 2	dbh	15.6	15.9	0.5					
	BA	31.2	33.5	2.2	0.1	0.1	0.4	0.2	0.1
	TV	171.0	187.0	15.0	1.0	0.2	2.8	1.5	0.9
	MV	157.0	162.0	15.0	1.1	0.3	3.1	1.4	1.0
Quebec 1	dbh	13.3	13.9	0.6					
	BA	45.2	49.4	4.0	1.1	1.0	2.1	2.2	1.5
	TV	310.1	341.7	31.6	6.3	8.0	15.7	15.5	12.2
	MV	251.7	282.0	30.3	7.8	7.6	16.6	17.0	11.6
Quebec 2	dbh	12.1	12.6	0.5					
	BA	40.2	44.1	4.0	0.5	0.5	0.2	1.5	1.2
	TV	259.2	290.1	30.9	2.8	3.1	1.7	10.5	7.9
	MV	203.1	233.0	29.9	3.5	7.6	2.0	11.8	11.3
Quebec 3	dbh	13.8	14.5	0.7					
	BA	37.0	41.0	4.2	0.8	1.0	0.7	0.9	0.7
	TV	235.0	267.0	32.0	5.4	7.6	4.5	6.3	5.5
	MV	197.0	228.0	31.0	4.5	7.3	3.4	6.3	3.9
Quebec 4	dbh	10.9	11.4	0.5					
	BA	44.5	48.4	3.8	0.5	1.6	1.0	1.2	0.6
	TV	275.5	301.4	26.0	3.0	10.8	7.5	8.3	3.4
	MV	200.2	225.6	25.4	3.6	12.5	6.9	12.1	5.0

Appendix II (continued)

Installation	Stand parameter	Untreated stand			Response				
		initial	final	increment	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Quebec 5	dbh	8.6	9.1	0.5					
	BA	40.6	45.7	5.1	1.4	1.3	2.5	1.2	2.3
	TV	237.4	272.2	34.8	10.6	10.3	17.6	8.6	16.2
	MV	116.8	152.8	36.0	10.1	9.4	18.8	7.8	14.8
Quebec 6	dbh	9.9	10.4	0.5					
	BA	40.4	45.2	4.8	1.6	2.4	1.1	1.2	1.5
	TV	243.4	275.5	32.1	14.8	15.5	8.5	9.4	14.5
	MV	154.8	187.8	33.0	13.0	21.0	6.6	10.6	12.7
Quebec 7	dbh	10.3	10.9	0.6					
	BA	42.7	47.3	4.6	-0.3	-0.6	0.2	0.2	-0.2
	TV	261.6	294.3	32.6	-2.2	-3.8	2.1	2.2	-1.1
	MV	174.0	208.5	34.5	-2.3	-4.7	0.6	1.5	-2.1
Quebec 8	dbh	11.0	11.5	0.4					
	BA	32.1	34.6	2.5	0.6	0.3	0.7	-0.4	0.8
	TV	207.2	227.1	19.9	4.5	3.4	5.4	-3.0	6.5
	MV	150.9	171.4	20.5	5.2	2.9	5.9	-4.2	7.4
Quebec 9	dbh	10.0	10.7	0.6					
	BA	29.1	33.0	3.9	-0.2	0.1	0.0	0.5	0.7
	TV	178.4	205.3	26.8	0.6	1.4	0.8	5.7	6.3
	MV	108.9	138.3	29.5	-0.8	-0.5	-3.3	1.1	10.8
Quebec 10	dbh	11.4	11.9	0.5					
	BA	27.8	30.0	2.8	1.2	2.0	1.8	1.4	1.0
	TV	207.4	232.8	25.4	9.4	17.8	18.2	13.7	9.9
	MV	151.8	180.5	28.5	6.9	13.1	15.1	8.7	3.8
Quebec 11	dbh	12.5	13.1	0.6					
	BA	29.6	32.8	3.0	0.6	0.6	0.9	2.3	1.2
	TV	236.5	266.1	29.6	5.9	5.9	9.2	23.3	11.5
	MV	191.0	219.2	28.3	4.8	4.1	9.7	23.4	10.8
Quebec 12	dbh	9.7	10.3	0.6					
	BA	25.0	27.8	2.8	0.1	1.1	1.2	1.0	1.0
	TV	144.8	163.3	18.5	0.3	8.4	10.3	8.4	5.6
	MV	97.1	114.1	17.0	1.0	8.2	10.7	9.0	8.6
Quebec 13	dbh	12.4	12.9	0.5					
	BA	36.2	39.0	2.7	1.1	0.7	1.3	1.1	0.6
	TV	231.7	252.8	21.1	7.5	5.4	9.4	6.6	3.5
	MV	182.2	208.8	21.5	10.6	5.4	11.0	5.8	6.1
Quebec 14	dbh	11.4	12.1	0.7					
	BA	25.9	29.1	3.3	0.5	0.6	0.1	0.3	0.1
	TV	141.7	163.5	21.8	3.2	3.6	0.6	0.5	0.7
	MV	102.6	124.6	21.9	5.0	5.9	1.5	2.2	1.7
Quebec 15	dbh	11.1	11.6	0.5					
	BA	35.8	38.9	3.1	1.0	1.1	0.7	0.8	0.6
	TV	227.9	254.5	26.6	8.7	9.9	6.2	8.4	5.8
	MV	167.2	193.9	26.8	8.0	10.0	6.0	6.4	7.0

Appendix II (continued)

Installation	Stand parameter	Untreated stand			Response				
		initial	final	increment	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Quebec 16	dbh	11.7	12.4	0.7					
	BA	23.2	25.9	2.8	1.1	2.1	1.5	2.3	1.7
	TV	144.2	165.4	21.1	8.3	15.7	11.6	17.7	13.1
	MV	107.3	128.3	20.6	8.6	17.2	11.0	19.6	13.0
Quebec 17	dbh	10.5	11.3	0.8					
	BA	16.8	19.0	2.2	0.2	0.5	0.4	0.4	0.0
	TV	92.7	107.5	14.8	2.5	4.0	2.9	2.9	0.6
	MV	65.3	79.7	14.4	3.1	3.3	2.6	2.6	0.9
Quebec 18	dbh	9.4	9.9	0.6					
	BA	20.2	22.7	2.6	0.8	1.2	1.3	1.1	1.3
	TV	123.9	143.3	19.4	7.1	9.7	9.7	8.9	10.5
	MV	64.4	86.4	22.0	6.4	9.7	13.0	9.2	8.6
Quebec 19	dbh	12.4	13.0	0.6					
	BA	20.8	22.9	2.1	0.4	0.8	1.0	1.1	0.7
	TV	150.3	168.4	18.1	3.6	6.8	7.6	8.8	6.0
	MV	117.4	135.7	18.4	3.0	7.0	8.3	9.2	5.0
Quebec 20	dbh	14.2	14.9	0.7					
	BA	26.5	29.2	2.7	0.7	0.6	0.3	0.8	0.4
	TV	208.9	232.7	23.8	5.9	5.2	2.4	6.3	3.3
	MV	176.8	201.0	24.1	3.9	4.1	2.0	6.3	3.0
Quebec 21	dbh	9.8	10.5	0.7					
	BA	22.9	26.1	3.4	0.3	0.5	0.9	-0.3	0.5
	TV	109.2	133.1	23.9	2.3	4.5	6.8	-1.7	4.2
	MV	74.5	95.2	20.6	1.3	6.1	5.3	-0.3	-0.1
Quebec 22	dbh	10.8	11.3	0.5					
	BA	22.6	24.6	2.0	0.3	-0.1	0.4	-0.1	0.1
	TV	116.2	129.0	12.8	2.0	-0.8	2.6	0.6	1.0
	MV	86.5	98.3	11.7	3.0	-0.5	3.9	0.6	1.8
Quebec 23	dbh	8.7	9.4	0.7					
	BA	21.1	25.0	3.9	0.0	0.3	1.2	0.6	1.1
	TV	118.4	145.0	26.6	3.7	5.1	8.8	7.2	8.7
	MV	49.3	80.9	31.6	-1.0	2.8	7.5	3.8	5.7
Quebec 24	dbh	9.7	10.4	0.7					
	BA	25.2	28.9	3.7	0.8	0.8	0.9	1.2	1.2
	TV	152.5	181.7	29.2	6.3	6.7	7.7	10.5	9.8
	MV	104.2	133.1	29.0	6.3	4.9	6.7	7.8	9.3
Quebec 25	dbh	10.4	11.0	0.6					
	BA	23.4	26.4	3.0	1.1	0.3	1.5	0.9	0.6
	TV	111.4	129.4	18.0	4.6	1.3	7.7	4.7	3.2
	MV	75.7	94.6	18.9	6.4	0.4	5.7	5.2	1.9
Quebec 26	dbh	11.7	12.3	0.6					
	BA	20.9	23.0	2.2	0.5	0.8	1.3	1.1	1.0
	TV	122.9	138.1	15.2	3.5	5.2	9.1	8.1	7.7
	MV	91.9	108.6	16.7	3.8	4.5	8.1	7.5	6.4

Appendix II (continued)

Installation	Stand parameter	Untreated stand			Response				
		initial	final	increment	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Quebec 27	dbh	11.5	12.0	0.5					
	BA	45.0	49.3	4.3	0.9	1.2	0.1	0.6	0.0
	TV	276.2	307.7	31.5	6.2	8.7	0.7	4.8	-0.1
	MV	206.0	238.4	32.4	6.4	8.8	-0.6	3.3	-0.6
Quebec 28	dbh	13.2	13.8	0.6					
	BA	39.8	43.2	3.3	0.1	0.6	-0.2	0.0	0.4
	TV	219.3	242.4	23.2	0.6	4.1	-0.6	0.6	3.1
	MV	184.0	206.8	22.8	0.6	3.6	-1.1	-0.3	2.7
Quebec 29	dbh	10.7	11.2	0.5					
	BA	41.9	46.4	4.5	0.7	1.0	1.4	1.3	1.3
	TV	239.0	270.5	31.5	3.9	6.2	8.9	8.6	8.7
	MV	169.9	203.6	33.7	2.8	5.7	6.4	5.7	7.8
Quebec 30	dbh	11.9	12.4	0.5					
	BA	30.2	32.6	2.3	0.8	0.6	0.7	1.0	0.2
	TV	161.0	177.1	16.1	6.0	4.4	5.2	7.6	1.9
	MV	122.7	138.5	15.8	6.4	4.1	4.9	7.5	1.3
Quebec 31	dbh	15.6	16.3	0.7					
	BA	30.7	33.5	2.7	0.2	0.6	1.0	0.9	0.5
	TV	227.9	251.3	23.5	1.6	5.1	8.7	7.6	4.6
	MV	200.7	223.8	23.1	1.1	5.0	8.7	7.6	4.4
Quebec 32	dbh	12.3	13.1	0.8					
	BA	21.5	24.0	2.5	0.4	0.6	1.0	1.0	0.8
	TV	126.1	146.4	20.3	3.8	3.9	9.3	8.4	7.5
	MV	100.6	119.5	18.9	4.8	4.8	10.9	9.7	8.2
Quebec 33	dbh	10.2	10.8	0.6					
	BA	19.1	21.3	2.2	0.2	0.5	0.5	1.0	1.1
	TV	103.3	117.2	13.9	1.4	3.4	3.1	6.7	7.4
	MV	64.0	79.5	15.5	1.1	2.2	3.9	5.6	8.1
Quebec 34	dbh	16.5	17.1	0.5					
	BA	31.5	33.6	2.1	1.0	0.3	0.3	0.3	0.7
	TV	213.2	229.9	16.7	7.1	2.6	3.0	2.2	6.4
	MV	188.6	204.8	16.2	8.6	3.0	3.4	3.2	6.0
Quebec 35	dbh	9.1	9.6	0.5					
	BA	35.6	39.6	4.0	1.1	0.4	1.4	0.6	1.8
	TV	146.9	166.9	20.0	5.4	2.8	8.4	4.6	9.5
	MV	72.1	93.4	21.2	5.1	3.2	11.3	6.7	10.3
Quebec 36	dbh	9.1	9.5	0.4					
	BA	26.6	28.9	2.3	1.6	1.7	1.6	0.5	1.8
	TV	122.8	136.2	13.3	9.3	10.1	9.6	2.5	10.6
	MV	68.0	79.8	11.8	11.5	9.7	12.4	4.7	12.6
Quebec 37	dbh	10.2	10.5	0.3					
	BA	45.4	48.3	2.9	-0.3	0.2	0.3	0.5	-0.1
	TV	281.1	302.0	20.9	-0.1	3.2	4.3	5.2	0.5
	MV	177.2	199.9	22.7	-1.2	2.4	2.9	2.9	0.9

Appendix II (continued)

Installation	Stand parameter	Untreated stand			Response				
		initial	final	increment	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Quebec 38	dbh	9.3	9.7	0.4					
	BA	19.3	21.0	1.7	0.3	0.9	0.8	1.4	1.4
	TV	99.9	110.1	10.2	1.8	6.5	5.5	9.2	9.0
	MV	49.6	60.9	11.3	-0.5	6.8	5.5	11.0	8.6
Quebec 39	dbh	8.3	8.8	0.5					
	BA	16.4	18.5	2.2	0.5	1.2	1.8	1.5	1.5
	TV	72.7	84.3	11.7	2.9	5.8	10.1	7.8	8.2
	MV	22.7	35.2	12.5	2.9	3.0	13.4	8.3	8.5
Quebec 40	dbh	12.3	13.0	0.7					
	BA	26.4	29.6	3.1	0.6	1.2	1.0	1.6	1.4
	TV	192.6	219.6	27.1	5.8	10.6	8.6	14.6	12.1
	MV	150.7	178.5	27.8	4.4	9.8	7.6	12.7	9.0
Ontario 1	dbh	4.6	12.1	0.5					
	BA	34.9	38.8	3.8	-0.5	-1.2	-0.1	-0.3	-1.4
	TV	229.0	261.0	31.5	-3.3	-7.8	-0.6	-1.4	-9.3
	MV	172.0	206.0	33.7	-6.6	-11.1	-4.5	-5.2	-12.8
Ontario 2	dbh	13.4	14.0	0.6					
	BA	37.6	41.6	4.0	-0.2	-0.4	0.1	-1.0	-0.4
	TV	271.7	309.0	37.3	-1.5	-3.6	1.5	-7.6	-3.4
	MV	223.3	258.6	35.3	-1.3	-4.3	1.5	-7.3	-3.4
Ontario 3	dbh	13.7	14.3	0.6					
	BA	22.7	24.6	2.0	1.0	0.9	1.2	1.0	0.9
	TV	163.0	181.0	17.5	8.4	8.3	10.3	8.8	8.0
	MV	137.1	154.0	17.4	8.0	8.0	10.4	8.5	7.8
Ontario 4	dbh	15.4	15.9	0.5					
	BA	25.7	27.5	1.8	0.8	0.8	0.6	1.4	0.9
	TV	212.0	230.0	18.3	7.1	6.8	4.9	12.4	8.3
	MV	186.0	204.0	18.1	7.1	6.9	4.6	12.2	8.0
Ontario 5	dbh	15.0	15.5	0.5					
	BA	28.5	30.5	2.1	1.0	0.4	0.7	0.7	0.6
	TV	246.0	267.7	21.8	10.4	4.2	6.9	7.8	6.6
	MV	213.3	234.9	21.6	10.9	4.1	7.1	7.6	6.7
Ontario 6	dbh	12.4	13.0	0.6					
	BA	23.8	26.4	2.5	1.8	1.4	1.8	2.1	2.0
	TV	181.0	203.6	22.7	15.9	12.2	16.5	18.9	18.0
	MV	143.6	166.9	23.3	15.2	10.7	16.1	18.0	19.7
Ontario 7	dbh	10.1	10.8	0.6					
	BA	25.0	28.2	3.3	0.7	1.6	1.8	2.1	2.1
	TV	161.4	188.4	26.9	5.2	12.7	13.6	16.9	16.8
	MV	86.9	113.1	26.2	5.9	12.7	13.0	16.5	16.4
Ontario 8	dbh	9.0	9.8	0.7					
	BA	24.8	29.4	4.6	0.5	0.4	1.3	2.1	1.4
	TV	147.2	184.4	36.6	-0.8	5.7	12.0	13.7	11.7
	MV	74.5	114.5	40.0	-9.2	5.2	6.9	19.3	10.6

Appendix II (continued)

Installation	Stand parameter	Untreated stand			Response				
		initial	final	increment	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Ontario 9	dbh	8.8	9.7	0.9					
	BA	20.4	25.0	4.5	0.6	1.7	2.3	1.8	1.9
	TV	105.7	133.6	28.0	5.3	10.8	14.8	13.1	10.9
	MV	47.4	75.5	27.9	7.0	13.4	20.0	16.4	12.7
Ontario 10	dbh	8.8	10.0	1.1					
	BA	20.6	26.4	5.8	0.5	1.9	0.8	1.0	1.9
	TV	108.0	145.5	37.6	0.2	12.9	4.9	4.4	7.8
	MV	56.0	95.1	39.0	-4.9	12.9	4.1	2.4	-0.1
Ontario 11	dbh	14.8	15.3	0.5					
	BA	40.8	43.8	3.0	-0.6	-0.2	-1.0	0.6	0.5
	TV	284.0	308.7	24.8	-4.6	-2.4	-8.0	4.6	2.4
	MV	246.4	270.6	24.2	-4.6	-2.1	-7.7	4.7	3.0
Ontario 12	dbh	21.0	21.6	0.6					
	BA	68.8	73.2	4.2	-0.3	-0.1	-0.6	-0.6	-1.1
	TV	542.7	573.0	30.3	5.7	3.1	1.3	-2.5	3.6
	MV	500.0	528.0	28.0	5.9	4.5	3.0	-0.5	4.2
Ontario 13	dbh	14.2	14.8	0.6					
	BA	31.4	34.4	3.0	1.3	2.0	0.0	1.9	1.1
	TV	241.7	268.3	26.6	11.4	17.8	-0.9	16.2	9.3
	MV	205.8	232.3	26.5	11.3	18.0	-1.4	15.9	8.9
Ontario 14	dbh	14.6	15.1	0.5					
	BA	31.9	34.3	2.5	0.9	1.2	1.3	2.1	1.7
	TV	246.3	268.9	22.5	8.2	11.0	12.5	20.9	15.7
	MV	212.7	234.6	21.9	8.8	11.9	13.4	23.6	16.0
Ontario 15	dbh	13.5	14.1	0.6					
	BA	31.0	33.9	2.9	0.7	1.0	-0.1	1.5	0.9
	TV	223.9	249.3	25.3	5.7	8.6	-1.0	12.5	8.0
	MV	186.1	211.4	25.3	5.8	8.7	-1.1	12.6	7.9
Ontario 16	dbh	13.5	14.2	0.7					
	BA	26.8	29.8	3.0	0.5	0.1	0.7	0.9	0.7
	TV	190.1	215.8	25.7	4.2	0.9	6.3	8.2	6.6
	MV	157.9	183.4	25.5	4.1	0.9	6.0	7.9	6.5
Ontario 17	dbh	8.2	8.7	0.5					
	BA	25.6	29.0	3.4	0.5	1.3	0.7	1.2	1.0
	TV	143.7	167.2	23.5	3.5	7.7	4.8	10.4	5.2
	MV	49.6	78.3	28.7	4.2	5.0	2.0	9.0	3.7
Ontario 18	dbh	8.5	8.9	0.4					
	BA	24.4	27.1	2.7	1.9	3.0	2.7	2.2	3.0
	TV	130.5	148.5	18.0	12.1	19.1	18.2	14.7	19.9
	MV	48.6	69.2	20.6	14.2	22.9	21.6	15.2	23.3
Manitoba 1	dbh	14.1	14.7	0.6					
	BA	34.2	37.0	2.8	0.6	0.8	0.2	0.9	1.4
	TV	235.4	258.8	23.4	5.0	5.7	1.3	7.8	10.4
	MV	200.1	223.6	23.5	4.9	6.8	1.5	7.7	10.6

Appendix II (continued)

Installation	Stand parameter	Untreated stand			Response				
		initial	final	increment	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Manitoba 2	dbh	13.9	14.4	0.5					
	BA	29.6	31.9	2.3	0.4	1.3	0.7	0.4	1.0
	TV	202.0	220.5	18.5	3.2	11.1	6.2	3.7	8.8
	MV	169.1	187.5	18.3	3.4	10.6	5.9	3.1	8.1
Manitoba 3	dbh	12.7	13.1	0.4					
	BA	26.4	28.2	1.8	0.8	0.9	1.8	1.7	1.8
	TV	156.1	168.8	12.7	5.8	6.5	11.9	11.4	12.0
	MV	122.5	135.3	12.8	5.4	6.2	11.6	11.6	12.2
Manitoba 4	dbh	14.6	15.0	0.4					
	BA	33.1	35.4	2.2	1.1	0.8	1.2	1.1	1.0
	TV	217.8	235.3	17.5	9.0	6.5	9.9	8.6	6.6
	MV	182.5	200.1	17.5	9.0	6.8	9.9	9.2	8.7
Manitoba 5	dbh	9.6	10.0	0.4					
	BA	38.8	42.2	3.4	0.6	0.7	0.8	0.3	0.6
	TV	205.2	227.3	22.3	3.6	2.8	4.2	0.5	[illegible]
	MV	82.3	147.4	23.0	2.2	0.1	2.9	-0.2	[illegible]
Manitoba 6	dbh	13.0	13.4	0.4					
	BA	48.9	51.9	3.0	0.5	0.3	0.3	0.6	0.4
	TV	308.0	329.6	21.6	3.8	2.2	2.3	3.6	2.9
	MV	252.4	274.2	21.8	3.8	1.6	1.7	4.2	3.5
Manitoba 7	dbh	10.5	11.0	0.5					
	BA	39.7	43.6	3.9	0.3	0.8	0.3	0.0	0.4
	TV	202.1	227.4	25.3	1.8	5.1	1.7	0.0	2.4
	MV	130.5	157.6	27.1	-2.4	2.4	1.0	-1.4	5.0
Manitoba 8	dbh	13.4	13.8	0.4					
	BA	53.9	57.6	3.5	-0.4	-0.5	-0.1	0.0	0.3
	TV	358.8	385.1	26.2	-2.9	-3.8	-0.4	0.3	2.4
	MV	296.3	322.3	25.9	-2.0	-2.4	1.0	0.8	2.8
Saskatchewan 1	dbh	9.6	10.0	0.4					
	BA	34.4	37.2	2.8	0.4	1.7	2.3	2.4	2.3
	TV	199.3	220.0	20.7	3.2	12.4	17.4	18.1	18.9
	MV	112.7	135.3	22.5	3.0	10.3	19.2	17.8	18.8
Saskatchewan 2	dbh	14.6	15.0	0.4					
	BA	29.8	31.5	1.7	0.2	0.4	0.6	0.6	0.6
	TV	232.8	248.6	15.8	1.8	3.1	5.0	5.3	5.9
	MV	200.3	216.0	15.7	1.4	2.9	5.4	5.0	5.7
Saskatchewan 3	dbh	9.6	10.0	0.4					
	BA	53.5	57.5	4.0	0.1	0.4	0.7	0.3	0.7
	TV	299.9	327.8	27.9	4.5	5.7	8.7	4.6	8.3
	MV	182.2	210.7	28.5	5.1	4.5	9.7	5.6	7.9
Saskatchewan 4	dbh	8.9	9.6	0.7					
	BA	22.9	26.6	3.8	0.1	1.7	1.9	2.6	3.9
	TV	145.0	178.5	33.5	2.1	15.8	16.6	25.9	37.3
	MV	73.0	104.9	31.9	-0.7	19.1	18.4	20.4	37.4

Appendix II (continued)

Installation	Stand parameter	Untreated stand			Response				
		initial	final	increment	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Saskatchewan 5	dbh	12.3	12.7	0.4					
	BA	29.2	31.2	1.9	0.6	2.3	1.4	1.6	1.7
	TV	214.4	233.1	18.7	5.3	22.1	12.5	14.1	15.8
	MV	168.1	186.2	18.1	6.5	22.4	13.1	15.4	17.0
Alberta 1	dbh	22.5	23.3	0.8					
	BA	41.3	44.3	3.0	1.0	1.3	0.3	0.4	0.1
	TV	410.1	443.6	33.4	11.3	14.5	4.6	4.5	2.3
	MV	380.7	413.5	32.9	10.2	13.3	3.8	3.7	1.5
Alberta 2	dbh	10.8	11.3	0.5					
	BA	46.1	50.7	4.7	0.7	1.0	0.2	0.6	-0.3
	TV	290.6	327.3	36.7	3.8	7.1	1.3	6.0	-2.0
	MV	208.0	243.6	35.6	2.2	6.2	1.0	4.8	-3.2
Alberta 3	dbh	9.4	9.9	0.5					
	BA	32.2	36.3	4.1	0.9	1.9	1.9	1.7	2.0
	TV	210.6	245.1	34.5	5.4	14.7	14.2	12.0	16.2
	MV	148.5	182.4	33.9	4.7	13.2	13.4	11.1	13.9

[1] dbh (cm), BA (m^2/ha), TV and MV (m^3/ha). Conversion factors to English units are given in Appendix V.

Appendix III. Statistical significance of fertilization effects on TV increments in individual installations.

Installation	F†	Treatments in sequence of increasing mean TV increment††					
Nova Scotia 1	7.16*	2N + P	C	2N + PK	2N + K	2N	N
Nova Scotia 2	0.90	N	2N + K	2N + PK	2N	C	2N + P
Nova Scotia 3	3.95	N	C	2N + PK	2N	2N + P	2N + K
Nova Scotia 4	8.81*	C	2N + P	2N + K	N	2N	2N + PK
Nova Scotia 5	1.31	2N + P	2N	C	N	2N + K	2N + PK
New Brunswick 1	4.97	2N + PK	C	N	2N	2N + P	2N + K
New Brunswick 2	0.35	C	2N	2N + PK	N	2N + K	2N + P
Quebec 1	3.45	C	N	2N	2N + PK	2N + K	2N + P
Quebec 2	2.31	C	2N + P	N	2N	2N + PK	2N + K
Quebec 3	0.67	C	2N + P	N	2N + PK	2N + K	2N
Quebec 4	2.08	C	N	2N + PK	2N + P	2N + K	2N
Quebec 5	14.09**	C	2N + K	2N	N	2N + PK	2N + P
Quebec 6	7.28*	C	2N + P	2N + K	2N + PK	N	2N
Quebec 7	0.97	2N	N	2N + PK	C	2N + P	2N + K
Quebec 8	14.77**	2N + K	C	2N	N	2N + P	2N + PK
Quebec 9	4.85	C	N	2N + P	2N	2N + K	2N + PK
Quebec 10	1.69	C	N	2N + PK	2N + K	2N	2N + P
Quebec 11	7.00*	C	2N	N	2N + P	2N + PK	2N + K
Quebec 12	3.12	C	N	2N + PK	2N	2N + K	2N + P
Quebec 13	1.16	C	2N + PK	2N	2N + K	N	2N + P
Quebec 14	1.35	C	2N + K	2N + P	2N + PK	N	2N
Quebec 15	2.00	C	2N + P	2N + PK	2N + K	N	2N
Quebec 16	1.01	C	N	2N + P	2N + PK	2N	2N + K
Quebec 17	0.65	C	2N + PK	N	2N + K	2N + P	2N
Quebec 18	4.38	C	N	2N + K	2N	2N + P	2N + PK
Quebec 19	10.28*	C	N	2N + PK	2N	2N + P	2N + K
Quebec 20	8.68*	C	2N + P	2N + PK	2N	N	2N + K
Quebec 21	5.04	2N + K	C	N	2N	2N + PK	2N + P
Quebec 22	2.41	2N	2N + K	C	2N + PK	N	2N + P
Quebec 23	7.86*	C	N	2N	2N + K	2N + PK	2N + P
Quebec 24	1.29	C	N	2N	2N + P	2N + PK	2N + K
Quebec 25	1.10	C	2N	2N + PK	N	2N + K	2N + P
Quebec 26	6.52*	C	N	2N	2N + PK	2N + K	2N + P
Quebec 27	6.69*	2N + PK	C	2N + P	2N + K	N	2N
Quebec 28	4.12	2N + P	C	N	2N + K	2N + PK	2N
Quebec 29	1.68	C	N	2N	2N + K	2N + PK	2N + P
Quebec 30	2.24	C	2N + PK	2N	2N + P	N	2N + K
Quebec 31	1.30	C	N	2N + PK	2N	2N + K	2N + P
Quebec 32	3.81	C	N	2N	2N + PK	2N + K	2N + P
Quebec 33	2.84	C	N	2N + P	2N	2N + K	2N + PK
Quebec 34	6.97	C	2N + K	2N	2N + P	2N + PK	N
Quebec 35	31.09**	C	2N	2N + K	N	2N + P	2N + PK
Quebec 36	8.53*	C	2N + K	N	2N + P	2N	2N + PK
Quebec 37	0.56	N	C	2N + PK	2N	2N + P	2N + K
Quebec 38	23.49**	C	N	2N + P	2N	2N + PK	2N + K
Quebec 39	2.88	C	N	2N	2N + K	2N + PK	2N + P
Quebec 40	4.02	C	N	2N + P	2N	2N + PK	2N + K

Appendix III (continued)

Installation	F[†]	Treatments in sequence of increasing mean TV increment[††]					
Ontario 1	1.32	2N + PK	2N	N	2N + K	2N + P	C
Ontario 2	0.44	2N + K	2N	2N + PK	N	2N + P	C
Ontario 3	5.48	C	2N + PK	2N	N	2N + K	2N + P
Ontario 4	12.66*	C	2N + P	2N	N	2N + PK	2N + K
Ontario 5	4.99	C	2N	2N + P	2N + PK	2N + K	N
Ontario 6	12.86*	C	2N	N	2N + P	2N + PK	2N + K
Ontario 7	5.95	C	N	2N	2N + P	2N + PK	2N + K
Ontario 8	6.30	N	C	2N	2N + PK	2N + P	2N + K
Ontario 9	9.46	C	N	2N	2N + PK	2N + K	2N + P
Ontario 10	11.09*	C	N	2N + K	2N + P	2N + PK	2N
Ontario 11	8.57*	2N + P	N	2N	C	2N + PK	2N + K
Ontario 12	0.32	2N + K	C	2N + P	2N	2N + PK	N
Ontario 13	10.49*	2N + P	C	2N + PK	N	2N + K	2N
Ontario 14	3.71	C	N	2N	2N + P	2N + PK	2N + K
Ontario 15	4.08	2N + P	C	N	2N + PK	2N	2N + K
Ontario 16	4.17	C	2N	N	2N + P	2N + PK	2N + K
Ontario 17	12.51*	C	N	2N + P	2N + PK	2N	2N + K
Ontario 18	30.46**	C	N	2N + K	2N + P	2N	2N + PK
Manitoba 1	1.61	C	2N + P	N	2N	2N + K	2N + PK
Manitoba 2	2.18	C	N	2N + K	2N + P	2N + PK	2N
Manitoba 3	7.11*	C	N	2N	2N + K	2N + P	2N + PK
Manitoba 4	2.49	C	2N	2N + PK	2N + K	N	2N + P
Manitoba 5	0.40	C	2N + K	N	2N + PK	2N	2N + P
Manitoba 6	0.69	C	2N	2N + P	2N + PK	2N + K	N
Manitoba 7	1.84	2N + K	C	2N + P	N	2N + PK	2N
Manitoba 8	2.31	2N	N	C	2N + K	2N + P	2N + PK
Saskatchewan 1	26.85**	C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Saskatchewan 2	3.70	C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Saskatchewan 3	1.68	C	N	2N + K	2N	2N + PK	2N + P
Saskatchewan 4	12.31**	C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Saskatchewan 5	3.74	C	N	2N + P	2N + K	2N + PK	2N
Alberta 1	1.62	C	2N + PK	2N + K	2N + P	N	2N
Alberta 2	0.78	2N + PK	C	2N + P	N	2N + K	2N
Alberta 3	3.07	C	N	2N + K	2N + P	2N	2N + PK

[†] F ratios obtained by COVAR analysis are underlined and the sequence is presented for the adjusted volume increments.

[††] Treatments underscored by the same lines had means which did not differ significantly at P = 0.1. Sequences with no underlining did not include significant treatment effects.

* Significant at P = 0.05.

** Significant at P = 0.01.

Appendix IV. Volume loss due to tree mortality and gain in merchantable volume due to ingrowth of small trees by installation and treatment.

Installation	Mortality						Ingrowth					
	C	N	2N	2N+P	2N+K	2N+PK	C	N	2N	2N+P	2N+K	2N+PK
	m^3/ha^1						m^3/ha^1					
Nova Scotia 1	12.1	11.2	73.7	60.2	8.9	58.7	0.0	0.0	1.7	0.0	0.8	0.8
Nova Scotia 2	16.3	17.3	18.7	19.4	16.1	13.3	0.8	1.2	5.7	2.9	0.0	1.2
Nova Scotia 3	37.1	33.9	38.4	33.6	54.9	39.0	0.6	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0
Nova Scotia 4	3.4	15.5	2.4	16.1	4.7	3.7	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.4
Nova Scotia 5	6.1	4.1	4.6	4.7	14.1	6.6	0.0	1.2	0.6	1.2	1.9	0.6
New Brunswick 1	53.6	65.0	39.0	49.5	54.9	44.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
New Brunswick 2	58.0	44.9	60.4	34.1	48.3	32.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0
Quebec 1	28.0	19.3	13.0	13.5	21.4	25.4	0.6	3.1	0.0	1.8	2.4	0.0
Quebec 2	13.1	12.3	13.3	16.7	9.2	6.0	1.8	3.6	0.9	3.8	5.3	6.4
Quebec 3	10.5	13.0	9.9	11.0	14.8	78.9	1.2	0.6	1.3	0.6	1.9	0.0
Quebec 4	16.0	16.9	13.6	13.4	16.0	19.3	2.1	3.4	4.1	0.6	6.6	4.5
Quebec 5	6.7	6.2	5.3	4.7	10.4	11.3	12.2	11.5	12.0	16.6	13.9	15.5
Quebec 6	3.0	4.8	8.3	4.6	6.9	2.6	5.1	2.2	14.2	3.5	7.1	1.7
Quebec 7	3.2	0.7	12.6	6.9	1.3	10.6	6.3	5.5	3.2	3.2	5.0	3.5
Quebec 8	15.7	21.7	9.1	17.7	24.4	28.4	1.3	2.5	0.0	3.2	0.5	2.6
Quebec 9	9.8	8.0	6.8	9.7	7.3	7.8	8.2	4.1	3.8	2.7	1.4	13.2
Quebec 10	4.5	6.6	9.9	3.2	1.8	5.5	6.5	7.9	4.9	4.1	3.4	1.4
Quebec 11	6.8	9.7	4.3	3.6	1.5	13.4	0.5	0.6	0.9	2.2	2.3	0.5
Quebec 12	13.6	40.3	13.6	11.8	17.3	8.0	2.3	4.9	3.8	4.0	3.1	8.2
Quebec 13	5.0	3.9	3.8	9.2	2.7	9.3	1.3	6.2	1.9	5.3	3.7	5.9
Quebec 14	1.3	0.5	1.1	2.7	0.8	2.4	2.6	5.4	7.1	3.0	5.7	3.5
Quebec 15	2.3	4.0	7.0	14.2	3.9	11.8	3.8	3.1	5.6	6.0	1.1	4.9
Quebec 16	11.6	7.5	3.3	4.2	34.9	26.6	1.9	2.6	2.9	1.5	4.1	1.5
Quebec 17	2.1	8.9	6.3	2.1	4.3	12.1	4.1	3.5	4.9	3.6	3.0	2.9
Quebec 18	3.6	8.4	11.1	17.2	23.5	22.2	6.8	3.4	4.6	12.2	4.5	2.9
Quebec 19	5.9	8.6	12.3	9.1	7.3	9.8	1.0	0.4	0.8	2.4	1.9	0.0
Quebec 20	6.7	13.7	16.1	14.5	8.9	18.3	2.1	1.6	0.4	0.5	3.2	0.6
Quebec 21	0.0	0.3	0.3	0.6	0.0	2.6	4.3	1.0	4.2	2.2	0.8	3.5
Quebec 22	2.5	9.1	23.3	4.7	3.2	0.6	0.3	1.7	2.2	3.3	1.9	0.9
Quebec 23	16.7	16.5	14.4	7.9	7.8	13.4	10.1	1.0	3.3	12.3	3.4	10.7
Quebec 24	4.9	0.7	3.7	4.6	1.6	9.0	5.3	5.1	2.9	3.4	2.3	3.8
Quebec 25	0.6	0.0	1.6	0.6	0.3	0.0	3.7	9.4	3.7	4.7	6.9	2.2
Quebec 26	2.3	1.8	0.3	1.6	1.1	0.6	1.6	2.2	1.7	1.0	1.3	0.4
Quebec 27	40.4	42.0	41.4	55.6	47.5	27.9	2.6	2.5	2.4	0.6	0.5	2.0
Quebec 28	6.7	3.6	7.0	4.2	2.7	2.1	1.8	0.9	0.2	0.0	0.6	0.4
Quebec 29	4.0	5.3	8.2	5.5	4.2	4.9	5.3	6.2	5.4	4.4	4.1	5.1
Quebec 30	11.6	14.3	15.0	32.4	21.2	17.8	0.9	0.9	0.0	0.0	0.2	0.0
Quebec 31	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0	0.3	0.2	0.0	0.2	0.4	0.3
Quebec 32	5.2	6.0	26.0	5.6	10.3	3.3	2.3	5.0	2.8	5.2	4.1	4.9
Quebec 33	23.0	19.7	18.6	5.7	6.3	8.3	2.3	5.0	2.8	5.2	4.1	4.9
Quebec 34	48.2	72.1	21.8	43.6	37.3	65.5	0.0	1.3	0.4	0.4	0.5	0.0
Quebec 35	2.8	1.6	1.4	2.1	4.0	3.7	5.6	6.8	4.8	8.3	7.0	8.9
Quebec 36	3.1	0.7	0.5	1.3	2.4	2.2	2.7	6.0	3.5	5.9	4.5	5.7
Quebec 37	8.0	30.4	36.4	72.9	22.6	10.8	4.7	1.3	1.8	1.0	0.0	3.6
Quebec 38	2.8	0.9	1.8	4.1	2.6	3.2	3.2	1.7	3.4	3.9	6.3	5.7
Quebec 39	3.0	4.0	1.7	3.0	3.4	2.0	5.4	5.4	9.7	12.0	11.7	10.7
Quebec 40	3.1	0.0	2.4	4.2	3.0	9.8	1.7	0.7	0.0	0.8	1.0	1.0

[1] Conversion factors to English units are given in Appendix V.

Appendix IV (continued)

Installation	Mortality						Ingrowth					
	C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK	C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
	m^3/ha^1						m^3/ha^1					
Ontario 1	16.8	12.4	5.7	5.5	27.5	18.2	4.5	0.0	0.6	0.7	1.3	0.0
Ontario 2	16.8	13.9	34.3	30.7	15.4	16.0	1.1	0.5	0.0	0.6	0.5	1.0
Ontario 3	8.8	6.0	2.7	1.8	9.8	8.7	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0
Ontario 4	7.2	9.1	7.1	6.6	14.2	5.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
Ontario 5	8.1	7.1	7.2	11.4	7.5	17.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.2	0.2
Ontario 6	10.6	15.0	14.0	10.8	17.5	7.9	0.8	1.0	0.0	0.9	0.8	3.6
Ontario 7	2.1	3.0	11.1	6.0	15.6	4.9	2.1	4.5	2.6	6.5	4.6	2.5
Ontario 8	5.6	7.4	24.8	24.5	5.9	17.5	6.7	4.6	5.6	4.4	12.8	7.4
Ontario 9	3.3	2.4	6.6	7.1	2.9	5.8	9.7	11.7	8.8	19.8	13.8	8.7
Ontario 10	0.0	0.5	0.7	0.2	0.3	0.5	10.8	19.9	14.7	14.0	22.1	25.8
Ontario 11	23.7	62.6	22.3	118.3	35.7	28.2	0.0	0.0	0.4	0.0	0.3	0.3
Ontario 12	38.3	156.6	84.3	74.9	134.1	141.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ontario 13	16.2	20.6	9.9	13.6	18.5	15.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ontario 14	32.2	24.7	11.1	13.7	16.7	24.3	0.0	0.6	0.4	0.0	0.0	0.0
Ontario 15	13.1	14.5	13.5	9.0	6.0	23.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ontario 16	9.7	6.3	5.7	7.8	6.1	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0
Ontario 17	5.2	7.1	1.9	4.7	12.8	10.0	9.2	11.3	13.8	8.7	4.7	11.1
Ontario 18	6.4	5.6	5.3	4.7	9.0	4.0	6.7	16.9	26.4	16.2	9.9	16.9
Manitoba 1	18.7	4.3	6.8	11.5	5.5	7.3	0.4	0.3	1.0	0.4	0.3	0.3
Manitoba 2	20.4	12.5	6.9	22.0	15.6	19.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.3	0.9
Manitoba 3	9.1	9.3	14.0	13.9	13.5	11.7	0.7	1.4	0.0	0.4	0.8	1.8
Manitoba 4	8.6	12.4	8.0	15.8	5.2	10.1	0.0	0.3	0.3	0.0	1.0	2.2
Manitoba 5	10.7	1.3	3.9	9.0	2.0	11.3	4.0	4.2	8.5	6.0	7.8	3.3
Manitoba 6	27.5	9.5	7.7	19.7	39.9	15.1	0.6	0.6	0.0	0.0	1.3	1.3
Manitoba 7	10.2	7.7	5.5	5.3	8.2	8.5	4.5	2.8	6.1	5.5	4.4	10.5
Manitoba 8	37.4	28.7	20.6	26.2	22.8	10.6	0.0	0.5	1.0	1.1	0.0	0.0
Saskatchewan 1	3.6	10.5	8.5	3.6	1.0	8.9	4.7	2.2	5.6	7.5	8.3	4.3
Saskatchewan 2	11.3	10.1	10.8	14.4	11.8	16.5	0.5	0.3	0.8	1.5	0.0	0.0
Saskatchewan 3	8.3	5.4	26.2	6.6	2.1	10.6	7.2	2.7	2.6	4.8	5.7	2.6
Saskatchewan 4	9.2	7.4	9.7	5.8	6.4	15.2	4.5	2.5	10.4	11.8	5.1	6.3
Saskatchewan 5	2.9	4.0	8.0	16.6	3.8	5.9	0.0	3.0	2.1	0.6	3.7	2.2
Alberta 1	31.3	37.7	24.2	38.0	32.9	34.7	1.3	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0
Alberta 2	6.9	1.7	5.2	0.8	0.0	11.0	1.8	7.0	3.3	2.9	0.8	0.0
Alberta 3	11.2	2.7	3.2	2.8	4.3	3.3	3.3	1.2	2.1	2.4	1.6	2.6

[1] Conversion factors to English units are given in Appendix V.

Appendix V. Metric units and ratios, and their English equivalents.

1 cm	0.39370 inch
1 m	3.28084 feet
1 m^2	10.7639 square feet
1 ha	2.47105 acres
1 m^3	35.3147 cubic feet
	10.353147 cunit
1 kg	2.20462 pounds
1 m^2/ha	4.35600 square feet per acre
1 m^3/ha	14.2913 cubic feet per acre
1 kg/ha	0.892179 pounds per acre

Environnement Canada
Service canadien des forêts

Environment Canada
Canadian Forestry Service

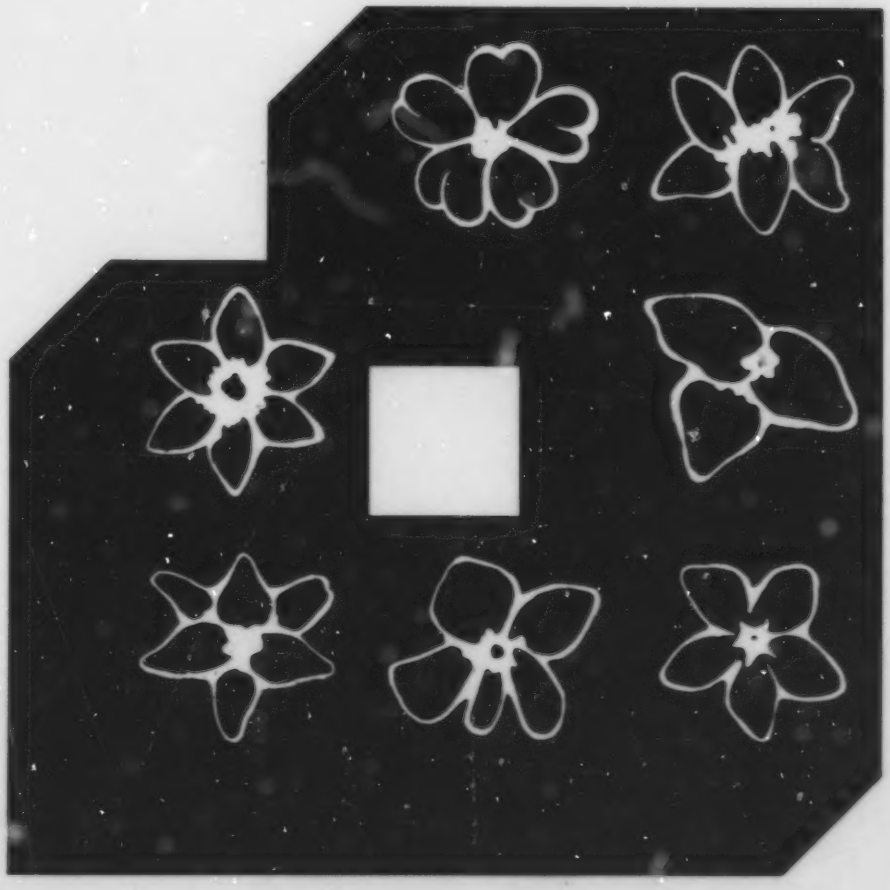
Programme interprovincial de fertilisation des forêts

H. H. Krause, G. F. Weetman,
E. Koller et J.-M. Veilleux

DPC-X-12

Environment Canada Environnement Canada
0084644C DEST PVM EXCH COPY 03
SD 13 I5314
VOL ISS 12 DPCX-12
RAPPORT D'INFORMATION DPC-X

Résultats des remesurages de l'accroissement quinquennal



Canada

Service canadien des forêts
Environnement Canada

Le Service canadien des forêts (SCF) réunit la majorité des spécialistes fédéraux en foresterie. Son objectif général est de promouvoir l'aménagement et l'utilisation judicieux des ressources forestières du Canada pour le plus grand bien économique, social et environnemental des Canadiens.

Voici les principales fonctions du SCF:

1. Coordonner les politiques fédérales afin de favoriser l'amélioration de la gestion des ressources et l'expansion de l'industrie forestière.
2. Fournir une orientation scientifique et technologique dans le domaine de la foresterie, par la recherche et le développement.
3. Fournir et analyser les statistiques et l'information nationales et internationales qui serviront à établir les politiques.
4. Mettre au point et homologuer des codes et des normes en matière de rendement des produits du bois.
5. Protéger les forêts canadiennes en luttant contre les ravageurs étrangers.
6. Parrainer l'utilisation éventuelle des ressources forestières pour la production d'énergie.
7. Adhérer aux objectifs environnementaux du ministère de l'Environnement.

Divers organismes fédéraux participent aux programmes forestiers, et un comité de la stratégie forestière fédérale a été créé pour coordonner les activités fédérales en matière de foresterie. Le SCF a été désigné organisme directeur.

Le Service canadien des forêts comprend une administration centrale, six centres de recherches forestières et deux instituts nationaux. Les centres de recherches forestières doivent répondre aux impératifs régionaux et entretenir une liaison étroite avec les ministères provinciaux des Forêts. Ils participent également à des programmes nationaux dont ils assument fréquemment la direction. Les instituts nationaux sont les foyers des programmes d'envergure nationale.

Programme interprovincial de fertilisation des forêts

Résultats des remesurages de l'accroissement quinquennal

par

H.H. Krause, G.F. Weetman,
E. Koller et J.-M. Veilleux

Rapport d'information DPC-X-12
Service canadien des forêts
Environnement Canada

1982

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1982

N° de catalogue: Fo46-13/12-1982

ISBN 0-662-52018-1
ISSN 0705-324X

Imprimé au Canada

Des exemplaires de cette publication peuvent être obtenus à l'adresse suivante:
Environnement Canada
Centre de distribution des publications
151, rue Jean-Proulx
Hull (Québec)
K1A 1C7

La traduction française a été faite par J.-M. Veilleux, ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec.

Résumé

Le Programme interprovincial de fertilisation des forêts comporte quelque 81 dispositifs expérimentaux normalisés qui ont été établis par les services forestiers provinciaux du Nouveau-Brunswick, du Québec, de l'Ontario, du Manitoba et de l'Alberta, et par le Service canadien des forêts en Nouvelle-Écosse et en Saskatchewan. Ces expériences avaient pour but d'étudier les effets de l'application d'azote sous forme d'urée aux taux de 112 et 224 kg/ha, seul ou combiné au phosphore ou au potassium ou aux deux à la fois, sur la croissance de peuplements résineux au stade de perchis ou en voie d'atteindre leur maturité. Dans les traitements combinés, l'azote a été appliqué au taux le plus élevé, le phosphore sous forme de superphosphate triple au taux de 112 kg/ha et le potassium sous forme de chlorure de potasse, aussi au taux de 112 kg/ha.

Dans 23 des 81 dispositifs la fertilisation a augmenté la croissance de façon significative. Les réactions significatives de la croissance ont été surtout fréquentes dans les peuplements de pin gris. Les augmentations de l'accroissement quinquennal en volume total du peuplement varient entre 4,2 et 19,9 m^3/ha soit de 24 à 111 %. On a souvent obtenu un accroissement maximal à la suite des traitements combinés à l'azote et au phosphore avec ou sans potassium; toutefois, les réactions à ces traitements ne diffèrent pas de façon significative de celles obtenues avec les traitements à l'azote seul.

Les réactions aux traitements de fertilisation ont été moins fréquentes et moins étendues dans les peuplements d'épinette noire que dans la plupart des peuplements de pin gris. Dans les peuplements mélangés, le pin gris réagit plus fortement aux traitements de fertilisation que l'épinette noire. Les peuplements de sapin baumier et de pin gris présentent des modalités et des amplitudes similaires de réaction d'accroissement en volume total aux applications d'engrais.

Trois peuplements d'épinette blanche en Alberta ont accusé une augmentation moyenne d'accroissement quinquennal de 12,1 m^3/ha (soit 35 %) à la suite de l'application d'azote à forte dose, mais aucune réaction n'a été obtenue pour la même essence dans les provinces Maritimes. Un sur trois peuplements d'épinette rouge montre une réaction modérée de croissance à l'application d'azote seul à forte dose et à la combinaison azote, phosphore et potassium. Le gain le plus élevé en volume total, 37,3 m^3/ha ou 111 % de l'accroissement quinquennal, a été obtenu par application d'engrais à base d'azote, phosphore et potassium dans un peuplement de peuplier faux-tremble en Saskatchewan.

Bien que l'azote ait été le seul élément efficace dans les essais du programme interprovincial, la plupart des dispositifs ont accusé les meilleures vitesses de croissance à la suite d'application d'engrais combinés d'azote, phosphore et potassium. Dans quelques dispositifs, la croissance a été augmentée de façon significative par un ou plusieurs des traitements combinés, mais pas avec l'azote seul.

Les efforts en vue de corréler la réaction à la fertilisation avec les conditions des peuplements et les facteurs du site se sont généralement avérés vains. Cependant, une bonne corrélation a été obtenue entre la réaction aux traitements et les concentrations d'éléments dans le feuillage, avant traitement, dans les peuplements de pin gris.

Les études économiques des réactions obtenues dans les essais du programme interprovincial ainsi que dans d'autres expériences similaires avec le pin gris, ont démontré que l'emploi des engrais peut être financièrement intéressant dans certaines conditions. Cependant, dans la plupart des régions du centre et de l'est du Canada, les problèmes liés à l'aménagement pourraient restreindre l'emploi des engrais.

Table des matières

LISTE DES TABLEAUX VII

LISTE DES FIGURES VIII

AVANT-PROPOS IX

LISTE DES COLLABORATEURS X

REMERCIEMENTS XI

INTRODUCTION 1

Le programme interprovincial de fertilisation des forêts 1
Revue d'autres études canadiennes 2
Fertilisation des forêts au Canada à l'échelle opérationnelle 3

MÉTHODES 4

RÉSULTATS 6

Accroissement quinquennal et réaction à la fertilisation 7
Pin gris 7
Épinette noire 9
Pin gris – épinette noire 11
Épinette blanche 13
Épinette rouge 14
Sapin baumier 14
Peuplier faux-tremble 15
Traitements de fertilisation et mortalité des arbres 15
Traitements de fertilisation et recrutement 17
Accroissement quinquennal et réaction à la fertilisation en fonction des conditions de peuplement 17
Accroissement quinquennal et réaction à la fertilisation en fonction des teneurs du feuillage en éléments 18
Station, accroissements quinquennaux et réaction à la fertilisation 18

DISCUSSION 19

Réaction au traitement à l'azote 19
Ampleur de la réaction 19
Dose d'application 21
Supports de l'azote 21
Effets peu concluants du phosphore et du potassium 22
Efficacité de la fertilisation 22
Prédiction de la réaction 23
Considérations économiques et implications des résultats quant à l'aménagement forestier 23
Carences dans les expériences du programme interprovincial 24

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS 25

TABLEAUX 26

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 39

ANNEXE I Couvert forestier et autres caractéristiques des lieux étudiés 41

ANNEXE II Accroissement quinquennal et réaction à la fertilisation dans chaque dispositif du programme interprovincial 43

ANNEXE III Signifiance statistique des effets de la fertilisation sur l'accroissement en volume total (VT) dans chaque dispositif 51

ANNEXE IV Pertes en volume dues à la mortalité des tiges et gains en volume marchand dus au recrutement, par dispositif et par traitement 53

ANNEXE V Unités et rapports métriques et leurs équivalents dans le système impérial 55

Liste des tableaux

Tableau 1 Sommaire des dispositifs établis par province, année et essence 26

Tableau 2 Sections forestières, âge, indice de station et concentrations d'éléments dans le feuillage des peuplements de pin gris étudiés 27

Tableau 3 Volume total initial (VT) et accroissement quinquennal dans les peuplements de pin gris témoins et ceux fertilisés des sections forestières Algonquin–Pontiac, Saguenay, Laurentides–Onatchiway et Argiles du Nord 28

Tableau 4 Volume total initial (VT) et accroissement quinquennal dans les peuplements de pin gris témoins et ceux fertilisés de la section forestière Missinaibi–Cabonga 29

Tableau 5 Volume total initial (VT) et accroissement quinquennal dans les peuplements de pin gris témoins et ceux fertilisés des sections forestières Haut de la rivière des Anglais et Forêt mixte 30

Tableau 6 Sections forestières, âge, indice de station et concentrations d'éléments dans le feuillage des peuplements d'épinette noire et des peuplements mélangés de pin gris et d'épinette noire (Dans les peuplements mélangés, les concentrations indiquées sont celles de l'épinette noire) 31

Tableau 7 Volume total initial (VT) et accroissement quinquennal dans les peuplements d'épinette noire témoins et ceux fertilisés des sections Laurentides–Onatchiway et Argiles du Nord 32

Tableau 8 Volume total initial (VT) et accroissement quinquennal dans les peuplements d'épinette noire témoins et ceux des sections Missinaibi–Cabonga et Forêt mixte 33

Tableau 9 Volume total initial et accroissement quinquennal dans les peuplements mélangés de pin gris et d'épinette noire 34

Tableau 10 Accroissements relatifs en volume total (période de cinq ans) selon les essences et les traitements dans les peuplements mélangés de pin gris et d'épinette noire. Moyenne de deux dispositifs (Manitoba 3 et Saskatchewan 1) avec réactions significatives aux traitements ... 34

Tableau 11 Sections forestières, âge, indice de qualité de station et concentrations d'éléments dans le feuillage des peuplement d'épinette blanche, d'épinette rouge, de sapin baumier et de peuplier faux-tremble 35

Tableau 12 Volume total initial (VT) et accroissement quinquennal de l'épinette blanche et de l'épinette rouge avec et sans traitements de fertilisation 36

Tableau 13 Volume total initial (VT) et accroissement quinquennal dans les peuplements de sapin baumier et de peuplier faux-tremble avec et sans traitements de fertilisation 37

Tableau 14 Taux de mortalité et recrutement des arbres de petits diamètres en fraction du volume marchand au cours des cinq premières années consécutives aux traitements 38

Liste des figures

Figure 1 Distribution des dispositifs expérimentaux 2

Figure 2 Diagramme exprimant la séquence des calculs de l'accroissement quinquennal et de la réaction à la fertilisation 4

Figure 3 Courbe du volume total en fonction du dhp (TCL) 5

Figure 4 Réactions relatives à la fertilisation pour les peuplements de pin gris dans quelques sections forestières 6

Figure 5 Réactions relatives à la fertilisation pour les peuplements d'épinette noire et les peuplements mélangés d'épinette noire et de pin gris dans quelques sections forestières 10

Figure 6 Réactions à la fertilisation pour les peuplements d'épinette blanche, de sapin baumier et de peuplier faux-tremble dans quelques sections forestières 13

Figure 7 Accroissements brut et net en volume total selon les essences et les traitements au cours des cinq premières années consécutives à l'application d'engrais 16

Figure 8 Quantités requises d'azote sous forme d'urée pour produire un mètre cube de bois (en volume total), pour le pin sylvestre et l'épinette de Norvège en fonction de la dose d'application (tiré de Johnsson, 1977) 23

Avant-propos

Tous les renseignements relatifs à l'historique, à la conception, au dispositif expérimental et aux méthodes de travail du Programme interprovincial de fertilisation des forêts sont contenus dans le Rapport d'étape 1969-72 (Service canadien des forêts, 1973).

Le plan du programme prévoyait l'établissement des dispositifs durant une période de cinq ans à partir de 1969, suivi de remesurages effectués de façon à évaluer les réactions après cinq et dix ans.

Tous les collaborateurs du Comité technique, alors présidé par J.H. Cayford, avaient décidé que chaque année les nouvelles données des remesurages seraient analysées et que les résultats seraient publiés dans les plus brefs délais. Par le biais de contrats consentis par le Service canadien des forêts, H.H. Krause, G.F. Weetman et E. Koller ont été mandatés pour analyser et interpréter les résultats des remesurages quinquennaux effectués en 1974, 1975 et 1976 et préparer les rapports. Ces rapports publiés par le Service canadien des forêts du ministère de l'Environnement sont les rapports techniques n^{os} 16 et 22 et le rapport d'information DPC-X-8.

Lors de sa réunion annuelle de 1978, le comité technique, sous la présidence de R.C. Dobbs, a proposé qu'un rapport global soit préparé par H.H. Krause, G.F. Weetman, E. Koller et J.-M. Veilleux afin de présenter dans une même publication toutes les données des remesurages quinquennaux déjà publiées et celles non publiées de 1977. Les auteurs ont été invités à soumettre un plan de travail à partir duquel un contrat devait être conclu entre le Service canadien des forêts et l'Université du Nouveau-Brunswick. En vertu de ce contrat, les auteurs ont présenté les premiers résultats de leurs travaux au comité technique lors de sa réunion annuelle en 1979 et ont par la suite soumis un manuscrit qui a mené à la publication du présent rapport.

Liste des collaborateurs

Comité technique

Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles de l'Alberta	M.M. Mihajlovich
Ministère des Ressources renouvelables et des Services de transport du Manitoba	G. McColm
Ministère des Ressources naturelles de l'Ontario	G. Kokocinski
Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec	J.-M. Veilleux G. Sheedy
Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick	M.T. MacDonald
Ministère des Terres et Forêts de la Nouvelle-Écosse	R.G. Robertson (secrétaire)
Association canadienne des pâtes et papiers	H.S.D. Swan
Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers	E. Koller
Université de la Colombie-Britannique	G.F. Weetman
Université du Nouveau-Brunswick	H.H. Krause
Service canadien des forêts	R.C. Dobbs (président)

Remerciements

Ce rapport est le fruit de la collaboration entre l'Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers, les gouvernements provinciaux de l'Alberta, du Manitoba, de l'Ontario, du Québec, du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse, l'Université du Nouveau-Brunswick et le Service canadien des forêts.

Des remerciements particuliers s'adressent à M. H.S.D. Swan comme principal promoteur de ce projet et pour ses efforts de coordination dans les premiers instants entre les provinces participantes. Ce projet a aussi reçu une précieuse contribution de la part de M. G.L. Lowry. Les auteurs sont particulièrement redevables à MM. P.R. Barker, N.W. Foster et P.J. Rennie pour leurs examens critiques positifs du manuscrit.

Introduction

Le programme interprovincial de fertilisation des forêts

Les effets des engrais sur la croissance des forêts au Canada ont été étudiés depuis le début des années 50. Les premiers travaux ont été rapportés par Rennie (1972) et Armson *et al.* (1975). La documentation sur le sujet était encore peu abondante à la fin des années 60. Cependant, d'après les rapports de quelques études (Leech, 1969; Weetman, 1968) et selon les résultats de travaux plus anciens effectués dans des conditions écologiques similaires des forêts scandinaves, il semblerait que plusieurs types de forêts pourraient produire des réactions attrayantes au point de vue économique suite à la fertilisation azotée (N). La principale raison d'ajouter de l'azote pourrait se justifier par la tendance des forêts de conifères à former un humus brut épais dans les régions caractérisées par des températures moyennes annuelles basses et par des sols modérément à fortement acides. Le cycle minéral est lent en présence d'un épais humus brut et une forte compétition biologique pour l'azote peut se développer (Krause *et al.*, 1978; Rennie, 1978).

Jusqu'à ce jour, aucune méthode éprouvée d'analyse des sols et des tissus n'existe pour prédire la réaction des forêts canadiennes à la fertilisation. Il s'ensuit, à cause de ce manque de moyens analytiques, qu'on devrait insister sur des essais empiriques sur le terrain afin d'obtenir des données de base sur la réaction à la fertilisation dans les différents types de forêts et régions du pays. Cette façon de penser prédominait au cours des années 60 quand les plans du programme interprovincial ont été conçus. Entre temps les résultats d'autres études canadiennes ont été publiés et d'importants changements sont survenus dans le contexte de l'offre et de la demande du bois.

Plus de 90 % de toutes les forêts commerciales du Canada sont la propriété des provinces. Aussi, en mars 1968 un programme coopératif de recherche a-t-il été proposé aux provinces par l'Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers (I.C.R.P.P.). À l'exception de Terre-Neuve, de l'Île-du-Prince-Edouard et de la Colombie-Britannique, toutes les provinces ont accepté d'y participer. Peu de temps après, le ministère des Forêts de la Colombie-Britannique commençait l'établissement de son propre réseau d'essais de fertilisation dans les forêts du littoral pour le Douglas taxifolié (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) et la pruche occidentale (*Tsuga heterophylla* [Raf.] Sarg.) (Glew, 1974).

La proposition originale relative aux études interprovinciales prévoyait l'établissement de 120 dispositifs normalisés sur différentes stations dans différents types de couvert forestier. Finalement, 81 dispositifs ont été mis en place dans les peuplements de pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.), d'épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.), d'épinette blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss), d'épinette rouge (*Picea rubens* Sarg.), de sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.), et de peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.) de 1969 à 1972. Un sommaire des dispositifs établis par province, année d'établissement et essence est décrit au tableau 1 et la localisation approximative de chacun est indiquée dans la figure 1.

Selon l'entente mutuelle relative à ce programme, tous les travaux, y compris la sélection des peuplements, l'établissement des placettes, la fertilisation, le mesurage initial et les remesurages subséquents devaient être assumés par les organismes provinciaux d'aménagement forestier ou les laboratoires régionaux du Service canadien des forêts. Les méthodes de travail pour l'exécution des travaux ont été préparées par le comité technique créé en 1968. Les données ont été traitées à l'I.C.R.P.P. sous la direction d'Emil Koller. Les analyses foliaires ont été réalisées dans les laboratoires provinciaux du Québec, de l'Ontario et de l'Alberta et à l'Université du Nouveau-Brunswick. Le Service canadien des forêts a fourni les présidents du comité technique et les fonds pour la préparation et la publication des rapports. Toutes les dépenses relatives à l'exécution des travaux ont été payées par les provinces à l'exception de la Nouvelle-Écosse et de la Saskatchewan. Dans ces deux provinces, l'expérimentation était effectuée par le Service canadien des forêts.

Lors de l'élaboration du dispositif expérimental, on a supposé que dans la plupart des cas l'azote (N) était un facteur limitatif majeur de la croissance, que le phosphore (P) et le potassium (K) étaient présents en concentration suffisante pour assurer une croissance sous-optimale des arbres déficients en azote, et que des interactions positives pourraient s'ensuivre entre N et P et entre N et K dans certaines conditions écologiques et forestières.

En conséquence, les six traitements suivants ont été mis à l'essai:

1. Témoin
2. N – Azote au taux de 112 kg/ha
3. 2N – Azote au taux de 224 kg/ha
4. 2N + P – Azote au taux de 224 kg/ha
   – Phosphore au taux de 112 kg/ha
5. 2N + K – Azote au taux de 224 kg/ha
   – Potassium au taux de 112 kg/ha
6. 2N + PK – Azote au taux de 224 kg/ha
   – Phosphore au taux de 112 kg/ha
   – Potassium au taux de 112 kg/ha

Les types d'engrais suivants ont été utilisés:

N = Urée granulaire standard, 44 % d'azote
P = Superphosphate triple, 45 % de P_2O_5
K = Chlorure de potasse, 61 % de K_2O

Les traitements ont été répétés une fois et répartis au hasard à chaque répétition. La superficie des placettes fertilisées varie de 0,02 à 0,09 ha, selon la densité des peuplements. Les arbres qui ont été mesurés sont localisés dans la placette centrale dont la dimension varie de 0,01 à 0,04 ha. Tous les arbres vivants ayant un diamètre à hauteur de poitrine (d.h.p.)[1] de 6,35 cm et plus ont été numérotés. Les diamètres et les essences ont été enregistrés au moment de l'établissement du dispositif expérimental.

[1]Mesuré à 1,37 m (4,5 pieds) au-dessus du sol.

Revue d'autres études canadiennes

Dans la région de l'Atlantique, les études sur le terrain pour vérifier les effets de N, P et K ont été réalisées dans des peuplements d'épinette noire, de sapin baumier et de pin gris, juste avant l'âge de la coupe. Dans ces essais, c'est un dispositif factoriel simple qui a été utilisé, semblable à celui d'une plantation de sapin baumier cultivée en vue de la production d'arbres de Noël (Timmer *et al.*, 1977). Ces études ont mis en évidence des réactions consistantes et positives à l'addition d'azote; les effets de P et K n'y étaient généralement pas significatifs.

L'une des plus vieilles expériences de fertilisation combinée à l'éclaircie du peuplement a été tentée sur l'épinette noire, au Québec (Weetman, 1975). Cette étude montre une forte interaction positive entre l'addition d'azote et l'éclaircie. D'autres essais de fertilisation ont été tentés au Québec, sur le sapin baumier (Gagnon *et al.*, 1979; Brazeau, 1979) et le pin gris (Sheedy, 1977; Carrier, 1980).

Figure 1. Distribution des dispositifs expérimentaux.

Dans le nord de l'Ontario, le Centre de recherches forestières des Grands lacs a mis de l'avant le Programme de fertilisation du nord de l'Ontario qui comporte plus de 500 placettes permanentes établies dans les peuplements de pin gris et d'épinette noire. Des réactions cohérentes du pin gris à des apports d'azote ont été mises en évidence (Morrison *et al.*, 1976*a* et 1976*b*).

Plusieurs études se sont orientées sur le devenir des engrais ajoutés. Mahendrappa et Ogden (1973) et Bernier *et al.* (1972) ont tenté de quantifier les pertes d'azote (N) par volatilisation suite à une application d'urée. Les autres études concernent la transformation des engrais azotés dans le sol, particulièrement leur immobilisation et leur reminéralisation dans la couverture morte (Roberge et Knowles, 1966; Mahendrappa, 1978). Dans des études sur le pin gris dans le nord de l'Ontario, on a tenté de suivre le cycle minéral de l'azote des engrais dans l'écosystème forestier (Foster et Morrison, 1976; Morrison et Foster, 1977).

Les thèses de doctorat de Brazeau (1979), Foster (1979) et Camire (1980) concernent particulièrement les transformations et la distribution de l'azote dans les écosystèmes fertilisés du sapin baumier et du pin gris.

Les dispositifs «d'expériences de nutrition optimale» dans les peuplements de pin gris et d'épinette noire de l'est du Canada (Weetman et Algar, 1974) constituent une autre approche pour déterminer la réaction à la fertilisation et les besoins en éléments nutritifs pour une croissance maximale. Les engrais ont été ajoutés annuellement ou au besoin, afin de maintenir dans le feuillage les concentrations d'éléments préalablement déterminées. Combinée à une surveillance de la croissance, cette méthode peut favoriser l'utilisation de l'analyse foliaire comme instrument de diagnostic en fertilisation des forêts. Les applications d'engrais et les réactions du feuillage ont reçu une attention particulière dans des études sur la fertilisation du sapin baumier et de l'épinette rouge (Timmer, 1979).

Les aspects économiques de la fertilisation des forêts de pin gris du nord-ouest de l'Ontario et du Québec ont été vérifiés par Tucker (1974) et Nadeau (1977).

Fertilisation des forêts au Canada à l'échelle opérationnelle

Des études récentes concernant la demande et les approvisionnements en bois, tant sur le plan régional que national, ont identifié des déficits actuels et futurs (Reed, 1979). Ces études ont aussi indiqué que les efforts actuels en aménagement forestier sont insuffisants pour soutenir les présents niveaux d'utilisation dans certaines régions. Les principales raisons en sont le manque d'équilibre dans la distribution des classes d'âge, les rendements déclinants des peuplements, souvent sous le seuil de la rentabilité et la désaffectation des terres à vocation forestière au profit d'activités commerciales.

À l'encontre des autres techniques d'aménagement intensif des forêts, la fertilisation peut produire rapidement des accroissements en volume marchand. La fertilisation peut servir aux aménagistes forestiers comme moyen de combler les déficits des volumes de bois dans les peuplements de jeunes classes d'âges ou pour procurer des volumes additionnels dans des peuplements ayant presque atteint la maturité. En Scandinavie, les engrais ont été utilisés à grande échelle pour accroître les volumes de bois des peuplements d'âge moyen d'épinette de Norvège (*Picea abies* [L.] Karst.) et de pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.). En Colombie-Britannique où des problèmes similaires de distribution des classes d'âge existent, des programmes de fertilisation opérationnelle sont en cours depuis plus de 10 ans (Weetman *et al.*, 1979). La compagnie Pacific Logging Ltd. a fertilisé plus de 15 000 ha jusqu'à présent et le ministère des Forêts a traité 20 000 ha de peuplement de Douglas taxifolié avec de l'urée en 1979. Aux États-Unis, dans les régions du Nord-Ouest, des projets de plus grande envergure sont en cours depuis plusieurs années. Les peuplements sélectionnés pour être traités possèdent généralement une faible densité initiale ou un volume en bois qui est limité; ils sont cultivés principalement en vue de la production de bois de sciage.

Actuellement, il n'existe aucun programme de fertilisation opérationnelle dans les régions du centre et de l'est du Canada. Les raisons les plus probables en sont que ces peuplements n'ont que peu ou pas de valeur au point de vue du sciage, qu'ils sont propriété de la Couronne avec de faibles droits de coupe par rapport aux valeurs des bois sur pied du marché et qu'ils sont non aménagés avec de fortes densités, d'où une mortalité continuelle. D'autres contraintes sont l'épidémie de tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* [Clem.]) et, pour le détenteur de permis de coupe, des conditions insatisfaisantes pour faire face aux coûts de la sylviculture.

Des essais opérationnels d'application aérienne d'engrais azotés ont été réalisés dans le nord de l'Ontario (Armson, 1972) et au Québec sur le sapin baumier (Roberge et Gagnon, 1974) et le pin gris (Veilleux et Sheedy, 1977). D'autres essais opérationnels pour lesquels on possède moins d'informations ont été réalisés par l'industrie au Nouveau-Brunswick et en Nouvelle-Écosse.

Les diamètres des arbres (d.h.p.), tant dans les placettes fertilisées que témoins de tous les dispositifs, ont été remesurés à la fin de la cinquième saison de croissance consécutive aux traitements; la mortalité a aussi été notée. Les hauteurs de 15 arbres par placette ont été mesurées au Québec. Dans les autres provinces, les hauteurs de 50 arbres dans la superficie non traitée ont été mesurées sur toute une gamme de diamètres.

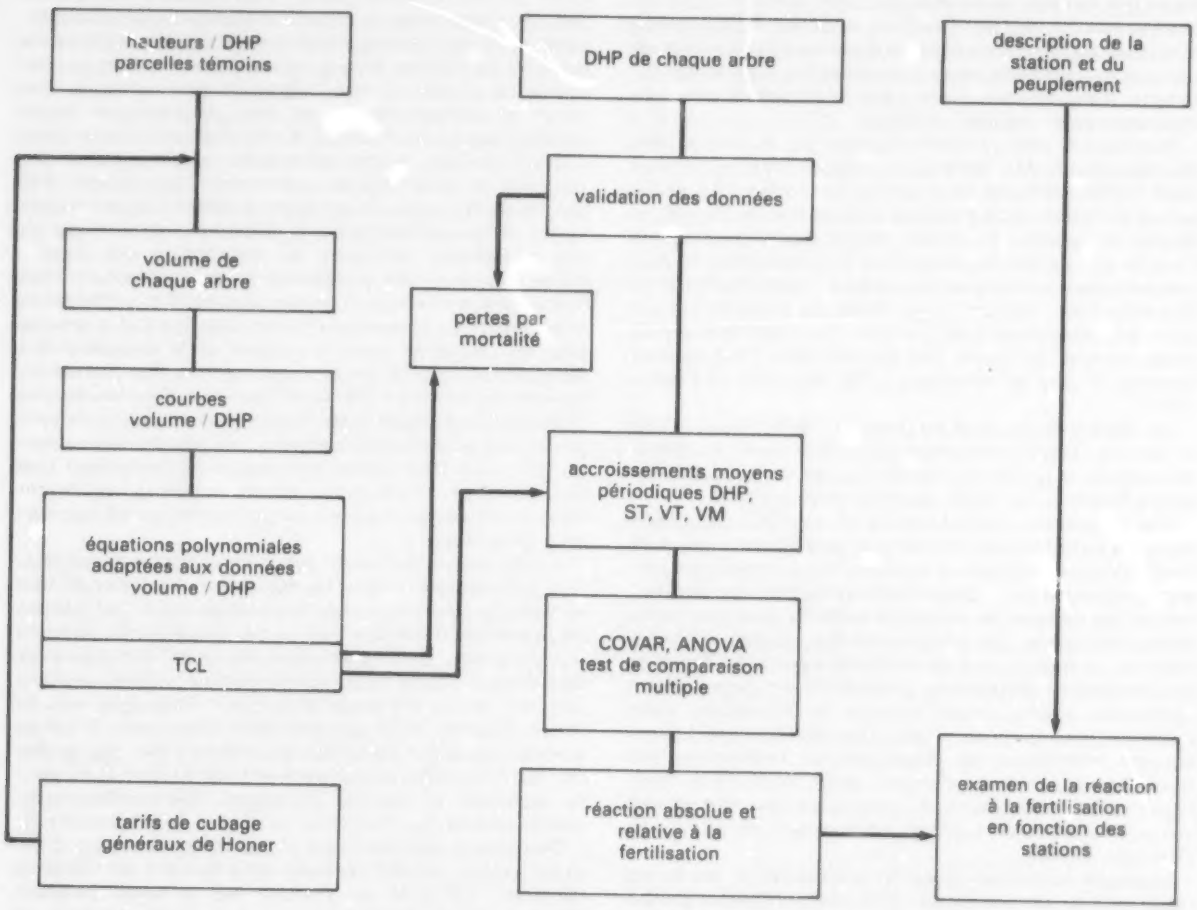


Figure 2. Diagramme exprimant la séquence des calculs de l'accroissement quinquennal et de la réaction à la fertilisation.

Les principales étapes suivies dans les calculs des effets de la fertilisation sont illustrées à la figure 2.

Les volumes total et marchand des arbres ont été calculés à partir des mesures de hauteur et de d.h.p. et à l'aide des tarifs de cubage généraux de Honer (1967). Des courbes de volume en fonction du diamètre ont été tracées et des équations quadratiques polynomiales ont été adaptées aux données de chacun des dispositifs. Un terme cubique y a été ajouté lorsqu'il augmentait de façon significative l'ajustement de la régression.

Pour les dispositifs mis en place dans les peuplements mélangés, on a tenté d'établir des relations volume-diamètre différentes pour chaque essence, mais le nombre d'observations était généralement trop faible pour établir des relations valables pour les espèces secondaires. L'examen des courbes de volume en fonction du diamètre n'indiquait pas de différence évidente entre les espèces. L'utilisation d'une seule équation pour l'ensemble des données des diamètres et volumes d'un même dispositif semblait alors justifiée. Cependant, des relations volume-diamètre différentes ont été établies dans quelques dispositifs pour le thuya occidental (*Thuja occidentalis* L.), essence secondaire dans plusieurs dispositifs du Québec.

Les équations polynomiales qui ont été préparées séparément pour chaque dispositif donnent le volume total ou marchand en fonction du d.h.p. et forment les tarifs de cubage locaux (TCL) auxquels on se réfère dans ce texte.

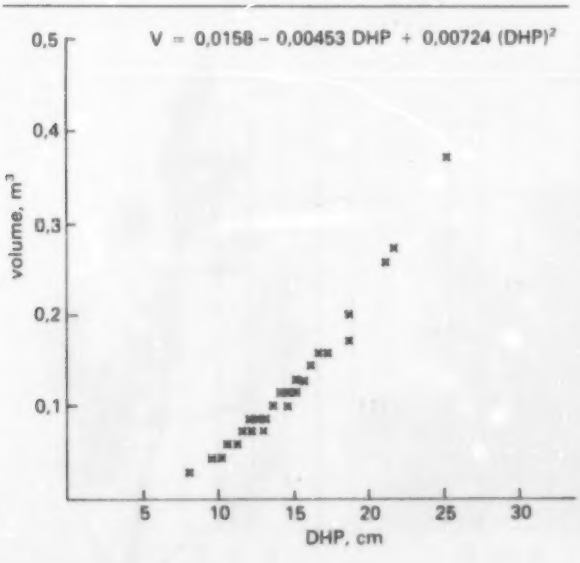


Figure 3. Courbe du volume total en fonction du dhp (TCL).

La figure 3 montre un exemple. Dans le calcul du volume marchand, le d.h.p. minimal est de 9 cm tandis que le diamètre minimal d'utilisation est de 7,6 cm. Les modifications produites par la fertilisation dans la forme des arbres n'ont pas été prises en considération.

Les TCL ont été utilisés pour calculer les volumes des placettes au moment du traitement et cinq ans après le traitement. Malheureusement, les hauteurs des arbres n'ont pas été mesurées au moment du traitement dans la plupart des placettes. On a compris que l'utilisation d'un seul TCL tendrait à surestimer la réaction à la fertilisation (Evert, 1976) et que les relations diamètre-volume sont sujettes à changer avec l'âge du peuplement. Cependant, les hauteurs des arbres ont été mesurées avant et cinq ans après traitement dans les dispositifs du Québec, ce qui a permis la préparation de deux TCL. Quand le volume et les réactions à la fertilisation ont été compilés en utilisant deux TCL différents, les résultats obtenus ne différaient pas significativement de ceux obtenus avec un seul TCL. Apparemment, les mesures et les méthodes de détermination du volume utilisées dans la recherche sur la fertilisation ne sont pas assez sensibles pour détecter l'effet de l'âge du peuplement sur les relations diamètre-hauteur et volume-diamètre.

Les diamètres des arbres, enregistrés sur cartes perforées, ont d'abord été soumis à une procédure de validation afin d'éliminer les observations erratiques. Les cartes présentant des possibilités d'erreurs ont été retournées aux responsables pour vérification. Aucun arbre vivant n'était normalement exclus des calculs. Il y avait des arbres de grandes dimensions, rarement plus d'un, dans quelques placettes. Ces arbres ont été rejetés lorsque leur d.h.p. dépassait largement les limites du tarif de cubage local.

Le volume des arbres morts et la mortalité moyenne du peuplement ont d'abord été déterminés pour chaque traitement. Les moyennes initiales et finales du d.h.p., de la surface terrière (ST), du volume total (VT) et du volume marchand (VM) ainsi que les accroissements quinquennaux correspondants ont ensuite été compilés pour chaque peuplement, en ne tenant compte que des arbres vivants au moment du remesurage. Les valeurs obtenues ont fait l'objet d'une analyse de variance (ANOVA) et d'une analyse de covariance (COVAR). La surface terrière et le volume total initiaux ont servi de covariables pour les accroissements correspondants. Les valeurs des traitements, ajustées par covariance, sont utilisées lorsque la pente de la régression est significative au seuil de probabilité de 10 % ($P = 0,1$). Dans les autres cas, les valeurs indiquées sont telles qu'observées.

Les résultats ont par la suite été soumis au test de Scheffe (1959), afin de déterminer quels traitements d'un dispositif ou d'un groupe de dispositifs diffèrent significativement l'un de l'autre. L'utilisation de cette méthode de comparaisons multiples est recommandée pour les données ajustées par analyse de covariance (COVAR). Même si ce test est conservateur, les effets des traitements sont considérés comme significatifs lorsqu'ils satisfont au critère de Scheffe au seuil de probabilité de 10 %.

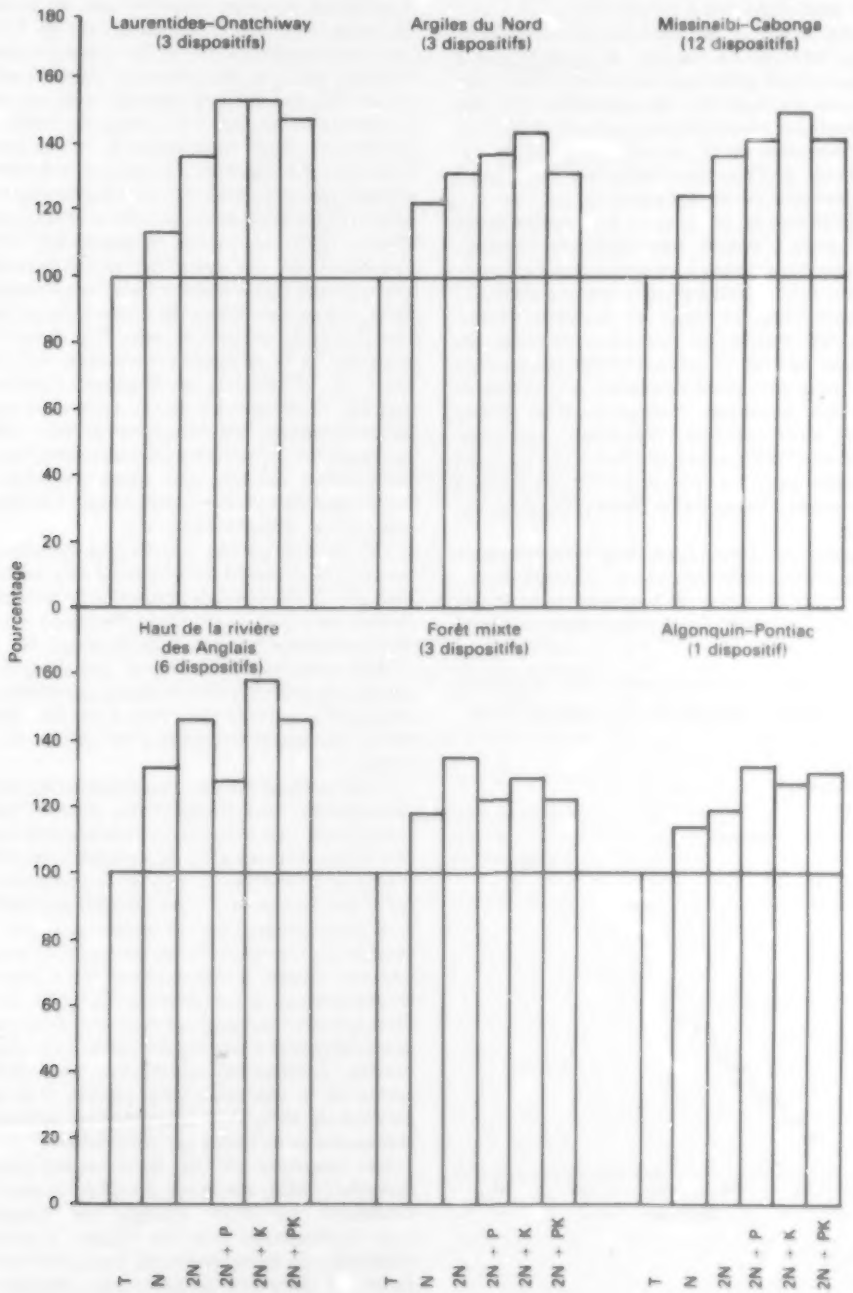


Figure 4. Réactions relatives à la fertilisation pour les peuplements de pin gris dans quelques sections forestières.

Accroissement quinquennal et réaction à la fertilisation

Les effets des traitements sont estimés en fonction de l'accroissement quinquennal (AQ) en volume total du peuplement. Les accroissements correspondants en ST et VM sont présentés ensemble, avec le mesurage initial des peuplements, dans l'annexe II.

La productivité des peuplements naturels témoins (sans traitement de fertilisation) et leurs réactions aux traitements varient en fonction des essences et de leur milieu de croissance.

Pin gris

Cette essence est représentée par 29 dispositifs couvrant une partie du Québec, de l'Ontario, du Manitoba et de la Saskatchewan (tableau 2). La plupart de ces dispositifs (27) sont situés dans la Région forestière Boréale. Deux autres se retrouvent dans la Région forestière des Grands lacs et du Saint-Laurent. Les résultats pour ces dispositifs sont présentés selon les sections forestières définies par Rowe (1972). Là où il y a plus d'un dispositif dans une section, les données ont été réanalysées en employant une classification hiérarchique des échantillons (dispositifs) et des sous-échantillons (placettes dans un dispositif) [Snedecor et Cochran, 1967].

Section forestière L.4b — Algonquin–Pontiac

Le seul dispositif (Québec 23) situé près de la bordure nord de la Région forestière des Grands-lacs et du Saint-Laurent implique un peuplement d'indice de qualité de station I (Plonski, 1974). Les résultats de l'analyse foliaire (tableau 2) démontrent des insuffisances pour l'azote et le phosphore lorsqu'on les compare aux valeurs limites proposées par Swan (1970).

L'accroissement quinquennal dans les placettes témoins se situe à 26,6 m^3/ha. L'application de N et P combinés ou non à K résulte en une augmentation significative de la croissance. Des gains en VT de 7,2 à 8,8 m^3/ha (tableau 3) et un accroissement relatif de l'AQ de 27 à 33 % (figure 4) ont été réalisés. Les traitements favorables ne diffèrent pas significativement entre eux (annexe III).

Section forestière L.7 — Saguenay

L'unique dispositif (Québec 33) de cette section est caractérisé par des concentrations généralement faibles d'éléments dans le feuillage (tableau 2) et un faible taux d'accroissement courant dans les placettes témoins.

Les données du remesurage quinquennal démontrent une faible réaction à l'application d'azote seul et une plus forte réaction aux applications de N et K (tableau 3). Cependant, les différences d'accroissement entre les placettes témoins et fertilisées ne sont pas statistiquement significatives.

Photo 1 Réaction du feuillage du pin gris à la fertilisation à l'azote et au potassium. Branche d'arbre non fertilisé (à gauche) et branche d'arbre fertilisé (à droite) (Gracieuseté de H.S.D. Swan).

Section forestière B.1a — Laurentides–Onatchiway

Trois peuplements ont été sélectionnés dans cette section orientale de la forêt boréale, tous situés sur des dépôts fluvio-glaciaires à drainage rapide (annexe I). Les peuplements sont d'âge moyen et leur indice de qualité de station représente les classes II et III (Plonski, 1974). Les analyses foliaires (tableau 2) indiquent de très faibles teneurs en azote (N) et de faibles teneurs en P (Swan, 1970). Un des peuplements avait une trop forte densité et un autre une trop faible densité. Les variations du volume et de la productivité sont exprimées dans les volumes initiaux des trois dispositifs (tableau 3).

L'AQ des trois peuplements varient de 10,2 à 23,5 m^3/ha dans les placettes non traitées (tableau 3). Par rapport au témoin l'AQ moyen a été accru significativement par les traitements 2N + P et 2N + K. Ces deux traitements ont pour effet d'accroître le gain en VT de plus de 8 m^3/ha, ce qui correspond à un accroissement quinquennal relatif de l'AQ de l'ordre de 54 % (figure 4). La photo I illustre la réaction du feuillage au traitement N + K dans une étude indépendante au Québec.

Un seul des trois dispositifs (Québec 38) montre des effets significatifs des traitements lorsqu'on l'analyse individuellement (annexe III). Bien qu'il n'y ait aucun effet significatif des traitements dans les deux autres dispositifs, les résultats laissent voir des améliorations substantielles de la croissance, avec un gain d'AQ de 76 % dans le peuplement de classe III le moins productif (Québec 39), mais de seulement 35 % dans le peuplement de classe II (Québec 31) avec le traitement 2N + PK.

Section forestière B.4 — Argiles du Nord

Trois des dispositifs établis dans le pin gris au Québec sont situés dans cette section. Ces peuplements comparables au point de vue de leur âge diffèrent vraiment quant à leur productivité qui se situe parmi les classes de fertilité I, II et III (Plonski, 1974). Les sols sont d'origine fluvio-glaciaire et varient aux points de vue texture et drainage (annexe I). Les résultats des analyses foliaires (tableau 2) indiquent des déficiences en N et en P (Swan, 1970).

L'AQ de ces peuplements de pin gris varie autour de 20 m^3/ha lorsqu'aucun engrais n'est appliqué. La croissance moyenne a été accrue de façon significative par tous les traitements, ce qui comprend l'application d'azote à la dose maximale. Les gains en volume total varient entre 6,5 et 8,8 m^3/ha, et correspondent à un accroissement quinquennal relatif de 32 à 43 % (figure 4). La comparaison entre le traitement à N seul et les traitements combinés indique que les engrais phosphorés et potassiques n'ont qu'un effet faible ou nul sur la croissance moyenne de ces peuplements.

Les résultats des analyses statistiques de chaque dispositif sont indiqués dans l'annexe III.

Section forestière B.7 — Missinaibi–Cabonga

Le pin gris est représenté par 12 dispositifs dans cette section, laquelle se situe en bordure sud de la forêt boréale du Québec et de l'Ontario. Plusieurs de ces peuplements montrent une croissance exceptionnelle-

*Photo 2 Pin gris (*Pinus banksiana *Lamb.). Dispositif Ontario 5.*

ment bonne avant traitement. Tous, à l'exception d'un seul, se rangent dans les classes de fertilité I ou II (Plonski, 1974). La plupart croissent sur des sols sablonneux de textures grossière à fine, d'origine fluvio-glaciaire (annexe I). Les analyses foliaires (tableau 2) réalisées dans sept des douze peuplements montrent des carences en N, P et K (Swan, 1970). Comme dans le précédent groupe de dispositifs du pin gris, le volume total (VT) initial et l'AQ des peuplements non traités étaient variables à cause des grandes différences d'âge et de volume. L'AQ moyen des placettes témoins se situe parmi les plus élevés de l'ensemble des peuplements de pin gris que l'on retrouve dans le programme.

Le groupe de peuplements de la section Missinaibi–Cabonga montre, en moyenne, des réactions fortes et statistiquement significatives à tous les traitements, y compris l'azote à la dose maximale (tableau 4). La croissance moyenne par rapport au témoin a été accrue de 9,4 m^3/ha ou 37 % (figure 4) avec le traitement 2N jusqu'à un maximum de 12,9 m^3/ha ou 50 % avec 2N + K. Cependant, la différence de croissance moyenne entre 2N et 2N + K des peuplements traités n'est pas significative au point de vue statistique.

L'analyse des données colligées dans chacun des dispositifs montre des effets statistiquement significatifs des traitements dans 6 des 16 peuplements (annexe III).

Section forestière B.11 — Haut de la rivière des Anglais

Les six peuplements de pin gris de ce groupe du nord-ouest de l'Ontario variaient au point de vue âge de 33 à 56 ans et se rangeaient tous dans la classe de fertilité II (Plonski, 1974), sauf un (tableau 2). Tous croissaient sur des sols à drainage rapide ou bon, caractérisés par des sables fins et loameux d'origine fluvio-glaciaire (annexe I). Leur volume total (VT) initial était plus élevé que celui du groupe de peuplements de pin gris de la section Missinaibi-Cabonga, mais l'AQ moyen des témoins (tableau 5) était parfois inférieur. Cette variabilité s'expliquait probablement par la différence d'âge moyen entre les deux groupes.

Dans l'ensemble, la moyenne des traitements indiquait que la croissance était affectée significativement par les applications d'engrais (tableau 5). Les traitements d'azote aux doses minimales et maximales favorisaient l'AQ de 7,5 m^3/ha ou 32 % et 10,8 m^3/ha ou 48 % respectivement. La meilleure vitesse de croissance moyenne a été obtenue dans les placettes traitées avec 2N + K, mais la différence attribuable au K n'était pas significative au point de vue statistique.

Seulement trois des six peuplements ont montré des effets significatifs des traitements lorsqu'ils étaient analysés sur le plan individuel (annexe III).

Section forestière B.18a — Forêt mixte

Trois vieux peuplements de pin gris, comparables avec de faibles indices de station (tableau 2) supportés par des sols bien à modérément bien drainés provenant de tills remaniés, ont été sélectionnes pour l'expérimentation dans cette section. Ils étaient caractérisés par des volumes initiaux comparativement élevés et une productivité courante variable.

Les peuplements de pin gris de cette section peuvent avoir bénéficié des traitements azotés (tableau 5). Le peuplement à croissance lente de la Saskatchewan peut aussi avoir réagi aux engrais phosphorés (P) et potassiques (K). Cependant, les analyses de chaque peuplement et de l'ensemble n'ont pas indiqué d'effets significatifs des traitements au point de vue statistique.

Sommaire

La croissance du pin gris a été améliorée de façon significative par les traitements de fertilisation dans la plupart des sections forestières. L'application d'azote seul, à raison de 224 kg/ha, s'est soldée par un gain moyen en volume total (VT) de 6,5 m^3/ha (Argiles du Nord), 9,4 m^3/ha (Missinaibi–Cabonga) et 10,8 m^3/ha (Haut de la rivière des Anglais), ce qui correspondait à des accroissements relatifs de 32, 37, et 60 % respectivement. Dans deux autres sections (Algonquin–Pontiac et Laurentides–Onatchiway), des augmentations significatives de croissance ont été obtenues seulement lorsque les engrais azotés étaient combinés à des engrais phosporés, avec ou sans potassium. Les moyennes des traitements dans les sections aussi bien que les données individuelles par dispositif ont fréquemment montré de plus grandes réactions aux traitements combinés. Cependant, les comparaisons multiples entre les moyennes des traitements n'ont pas indiqué de différences significatives entre les traitements 2N et 2N + P, 2N + K ou 2N + PK.

Chacun des 29 dispositifs a montré des vitesses de croissance supérieures à celle du témoin pour quelques-uns ou pour tous les traitements de fertilisation; toutefois, seuls 12 peuplements ont accusé des effets significatifs des traitements, ce qui laisse supposer qu'un manque de précision expérimentale aurait empêché de distinguer clairement entre les effets des traitements et les variations causées par des facteurs incontrôlables dans la plupart des dispositifs.

Épinette noire

Vingt-et-une aires d'expérimentation ont été mises à l'essai dans des peuplements purs ou à peu près purs d'épinette noire dans la Région forestière Boréale couvrant le nord du Québec, de l'Ontario, du Manitoba et de la Saskatchewan (tableau 6). Les sections forestières suivantes étaient représentées: Laurentides–Onatchiway, Argiles du Nord, Missinaibi–Cabonga et Forêt mixte.

Section forestière B.1a — Laurentides–Onatchiway

Les cinq peuplements d'épinette noire de cette section avaient un âge de 47 à 80 ans et se rangeaient dans les classes de fertilité Ia, I et II (Plonski, 1974). Ces peuplements venaient sur des sols bien, modérément bien ou imparfaitement drainés dérivés de tills ou de dépôts fluvio-glaciaires (annexe I). Les concentrations d'éléments dans le feuillage (tableau 6) accusaient des carences en N et en P (Swan, 1970).

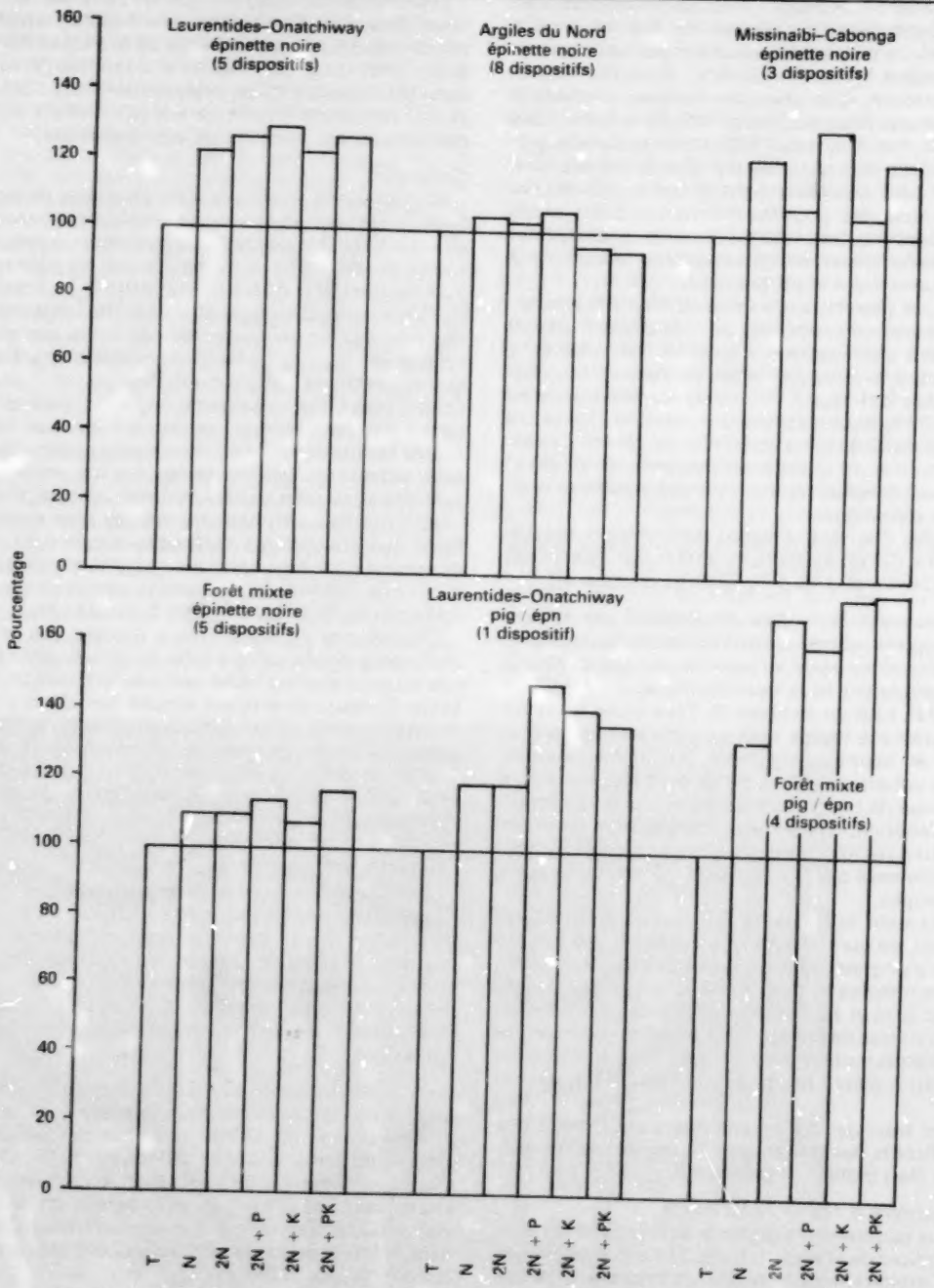


Figure 5. Réactions relatives à la fertilisation pour les peuplements mélangés d'épinette noire et de pin gris dans quelques section forestières.

Les peuplements d'épinette noire affichaient, en moyenne, un volume total (VT) initial et un accroissement quinquennal (AQ) un peu plus élevés que les peuplements de pin gris pour la même section forestière (tableaux 3 et 7). Les traitements de fertilisation ont amélioré la croissance de façon significative, le meilleur gain en VT étant de 5,1 m^3/ha ou 29 % avec le traitement 2N + P (figure 5). Cependant, ce gain n'était que légèrement supérieur à la réaction de croissance obtenue avec N seul à la dose d'application maximale (26 %).

Section forestière B.4 — Argiles du Nord

Quoique situés dans la même section forestière, les huit dispositifs représentaient un groupe très hétérogène d'écosystèmes de l'épinette noire. Les sols provenaient de dépôts fluvio-glaciaires, lacustres et organiques et de moraine de fond. Le drainage variait de passablement bon à pauvre (annexe I). Les peuplements correspondaient aux classes de fertilité I et Ia de Plonski (1974). Avec des âges variant de 51 à 75 ans et de grandes différences au point de vue densité, le VT initial de chaque peuplement variait passablement, jusqu'à une proportion d'un à six dans un cas (tableau 7). Les analyses foliaires ont généralement révélé (tableau 6) de faibles teneurs en N et P pour quelques peuplements mais non pour tous (Swan, 1970).

Ce groupe de peuplements d'épinette noire atteignait une production annuelle moyenne de 5,2 m^3/ha sans fertilisation. Les traitements de fertilisation n'ont pas affecté d'une façon significative la croissance d'aucun des dispositifs ni celle de l'ensemble des peuplements. Même si elles n'étaient pas significatives, des réactions ont été observées dans les peuplements ayant les plus faibles taux de croissance (Québec 13, 14, 17 et 21). Dans les peuplements ayant les meilleures vitesses de croissance (Ontario 1, 2 et 12) l'AQ des placettes fertilisées a été souvent inférieur à celui des peuplements témoins (tableau 7).

Section forestière B.7 — Missinaibi–Cabonga

Les trois peuplements d'épinette noire de cette section croissaient sur des sols d'origine fluvio-glaciaire bien à passablement bien drainés. Les peuplements avaient le même âge (41 à 45 ans) et se rangeaient dans les classes de fertilité I et Ia (Plonski, 1974) [annexe I]. Leur volume total (VT) initial variait passablement (tableau 8) et les analyses foliaires ont laissé voir une carence en azote (N) [Swan, 1970]. Le VT initial et l'AQ indiquaient une productivité considérablement plus faible que celle observée dans le précédent groupe de peuplements d'épinette noire.

La croissance moyenne du groupe Missinaibi–Cabonga a été améliorée de façon significative par l'application d'azote (N) aux deux doses et avec la combinaison d'engrais azotés et d'engrais phosphorés (tableau 8). L'application d'azote (N) à la dose maximale sans phosphore (P) a paru inefficace et une interaction négative semble s'être produite entre N et K quand ils sont combinés.

La meilleure réaction, avec 5,2 m^3/ha, a été obtenue avec le traitement 2N + P et correspondait à un gain relatif en AQ de 31 % (figure 5).

Section forestière B.18a — Forêt mixte

Les cinq peuplements d'épinette noire du Manitoba et de la Saskatchewan couvraient une grande variété d'âges et de conditions de station (tableau 6 et annexe I). Quatre de ces peuplements croissaient sur des sols passablement bien à imparfaitement drainés provenant de dépôts morainiques ou lacustres, le cinquième étant installé sur un sol organique mal drainé. Tous les peuplements avaient une productivité comparable (indices de fertilité I et Ia; Plonski, 1974) avec le volume initial moyen le plus élevé (tableau 8) de tous les groupes de peuplements d'épinette noire analysés et un AQ moyen surpassé seulement par celui observé dans la section forestière des Argiles du Nord.

A l'exception d'un seul (Manitoba 7, 2N + K), les quatre peuplements installés sur les sols minéraux ont montré un AQ plus élevé dans les placettes traitées que dans les placettes témoins. Au contraire, le peuplement sur sol organique (Manitoba 8) a montré une croissance inférieure pour les placettes fertilisées par rapport aux témoins. L'application combinée des trois éléments semblait le seul traitement ayant un certain potentiel pour accélérer la croissance dans les sols organiques.

Il n'y a pas eu de différences significatives entre les effets moyens des traitements enregistrés dans les différents dispositifs ou dans l'ensemble de l'expérience (tableau 6).

Sommaire

L'épinette noire n'a pas réagi aux traitements de fertilisation aussi bien que le pin gris. Seulement 2 des 21 dispositifs (Québec 35 et 36) et l'ensemble de deux des quatre sections forestières (Laurentides–Onatchiway et Missinaibi–Cabonga) ont accusé des augmentations significatives de croissance dues aux traitements de fertilisation par rapport au témoin. Dans deux des sections forestières, les gains moyens en VT ont été de 3,7 et 4,2 m^3/ha pour les additions d'azote (N) à la dose minimale et de 1,3 et 4,9 m^3/ha à la dose maximale d'azote. Les meilleures réactions ont été obtenues avec le traitement 2N + P mais les différences entre N ou 2N avec 2N + P ne sont pas significatives au point de vue statistique.

Pin gris–épinette noire

Ce groupe de dispositifs comprend des peuplements dans lesquels l'essence principale constitue moins de 90 % et l'essence secondaire, plus de 10 % du volume total (VT) initial. Sept dispositifs ont été établis dans des peuplements mélangés de pin gris et d'épinette noire couvrant les sections forestières Laurentides–Onatchiway, Argiles du Nord, Missinaibi–Cabonga et Forêt mixte (tableau 6). Ces peuplements étaient situés sur des sols dérivés de dépôts fluvio-glaciaires, morainiques ou lacustres à drainage rapide à pauvre. Les peuplements des sections forestières Argiles du Nord et Missinaibi–Cabonga étaient caractérisés par une productivité très élevée d'après les indices de station (tableau 6) et

*Photo 3 Peuplement mélangé d'épinette noire (*Picea mariana *[Mill.] B.S.P.) et de pin gris (*Pinus banksiana *Lamb.). Dispositif Saskatchewan 1.*

l'AQ (tableau 9); le peuplement situé le plus à l'est, section Laurentides–Onatchiway, avait une productivité moyenne, tandis que les peuplements de la section Forêt mixte étaient, en moyenne, les moins productifs.

Le remesurage dans les dispositifs des sections forestières Argiles du Nord, Missinaibi–Cabonga et Laurentides–Onatchiway a toujours montré des AQ plus élevés dans les placettes fertilisées que dans les placettes témoins (tableau 9), mais les analyses statistiques n'ont pas pu faire ressortir d'effets significatifs des traitements (annexe III).

En groupe, les peuplements de la section Forêt mixte ont réagi significativement à l'application d'azote (N) à la dose maximum (tableau 9). La meilleure réaction qui a atteint 13,3 m^3/ha pour un gain relatif en AQ de 76 % (figure 5) et a été obtenue avec le traitement 2N + PK. Cependant, elle n'était que légèrement supérieure à la réaction à l'azote seul. Lorsque l'analyse des résultats fut individualisée, seulement deux des peuplements de ce groupe ont montré un effet significatif des traitements (annexe II).

Dans les peuplements mélangés où les traitements ont eu un effet significatif, la comparaison des accroissements relatifs en volume total pour chaque essence a révélé que le pin gris avait réagi aux engrais avec plus de vigueur que l'épinette noire (tableau 10).

Épinette blanche

Les peuplements d'épinette blanche sélectionnés pour les essais de fertilisation étaient situés en Nouvelle-Écosse, au Nouveau-Brunswick et en Alberta (tableau 11).

Le seul dispositif de la section forestière Cap-Breton-Antigonish en Nouvelle-Écosse était localisé sur un sable loameux d'origine fluvio-glaciaire. Ce peuplement s'était établi naturellement dans un champ abandonné et se caractérisait par une productivité exceptionnellement élevée. Au cours des cinq premières années de l'expérience, sa vitesse de croissance annuelle a été de 9,5 m^3/ha (VT) sans traitement. Ce peuplement n'a pas réagi aux additions d'engrais (tableau 12).

Les deux peuplements de la section Côte de Fundy au Nouveau-Brunswick se sont aussi établis naturellement dans des champs abandonnés. Les sols sont bien drainés, de texture moyenne et proviennent d'une moraine de fond (annexe I). L'AQ de ces peuplements d'âge moyen (tableau 12) était très faible, par rapport à celui de la Nouvelle-Écosse. Cette différence s'expliquait surtout par l'infestation de la tordeuse qui avait suivi immédiatement l'établissement du dispositif. Les traitements de fertilisation n'ont que légèrement favorisé les croissances et ces faibles différences entre les placettes témoins et traitées n'étaient pas significatives au point de vue statistique.

Dans la section Forêt mixte de l'Alberta, les placettes ont été installées dans trois peuplements d'âges divers, sur des sols dérivés de matériaux géologiques nettement différents (tableau 11 et annexe I). En dépit de ces différences, la productivité était très élevée dans les trois peuplements (approximativement 7 m^3/ha par an).

Ces peuplements d'épinette blanche ont bien réagi à l'addition d'azote. À la dose maximum, l'accroissement de l'AQ moyen a été d'environ 12 m^3/ha (tableau), soit 35 % (figure 6). L'addition d'azote à la dose minimum ainsi que les combinaisons d'azote et de P avec ou sans K n'ont pas amélioré la croissance de façon significative par rapport au témoin.

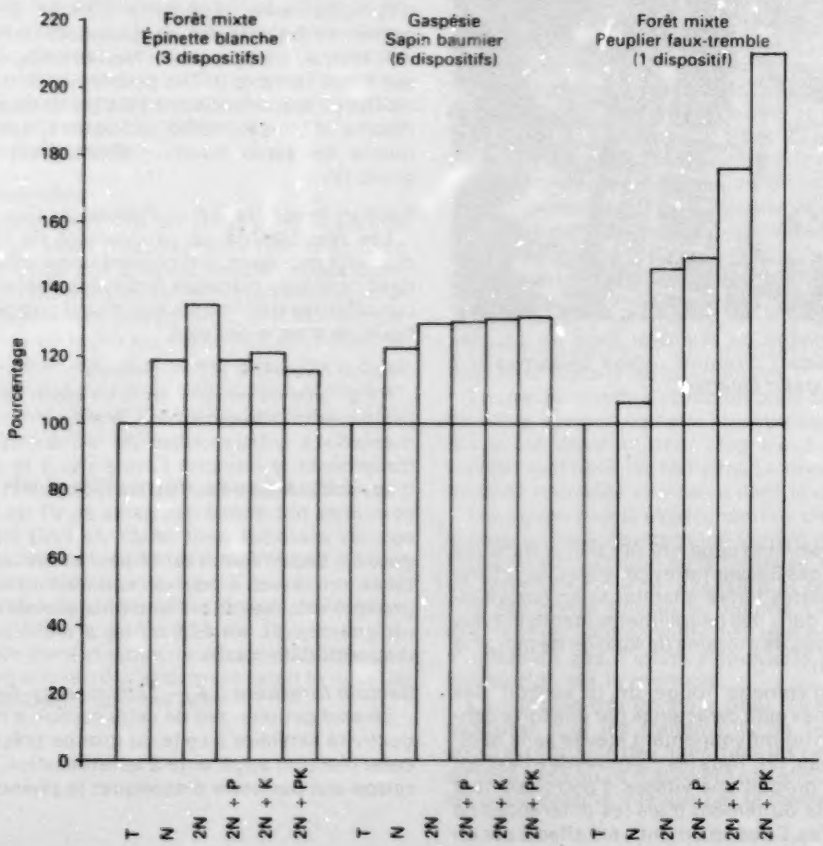


Figure 6. Réactions à la fertilisation pour les peuplements d'épinette blanche, de sapin baumier et de peuplier faux-tremble dans quelques sections forestières.

Photo 4 Échantillonnage du feuillage dans un peuplement de sapin baumier (Abies balsamea *[L.] Mill.). Dispositif Québec.*

Épinette rouge

Les essais sur l'épinette rouge ont été tentés dans les sections forestières des Basses terres centrales, de la Côte de Fundy et des Hautres terres atlantiques en Nouvelle-Écosse (tableau 11), dans des peuplements établis sur des sols bien drainés, issus de moraine de fond ou de moraine d'ablation (annexe I).

Le peuplement d'épinette rouge de la section des Basses terres centrales était caractérisé par une forte densité et une productivité moyennement élevée sans addition d'engrais (tableau 12). Tous les traitements à l'exception de 2N + P ont produit une vitesse d'accroissement plus élevée que celle du témoin mais les différences ne sont pas significatives. Ce peuplement a été affecté par un taux de mortalité élevé au cours de la période quinquennale (annexe IV). Les pertes élevées en volume peuvent avoir diminué la précision expérimentale de cet essai.

Le dispositif d'épinette rouge de la Côte de Fundy a été établi dans le plus jeune des trois peuplements et montre le plus faible AQ (tableau 12). Ce peuplement avait également une forte densité et accusait une mortalité considérable dans quelques placettes. Une réaction positive a été décelée pour tous les traitements de fertilisation; toutefois la croissance n'a été augmentée de façon significative par rapport au témoin qu'avec les traitements 2N et 2N + PK.

Le peuplement d'épinette rouge de la section des Hautes terres atlantiques montrait une productivité modérée sans fertilisation. La croissance semble avoir été améliorée par rapport au témoin à la suite du traitement 2N + PK (tableau 12) mais cet effet n'était pas significatif au point de vue statistique.

Sapin baumier

Les essais de fertilisation du sapin baumier ont été établis par les provinces de la Nouvelle-Écosse et du Québec. Cinq des 14 peuplements ne contenaient que du sapin. Les autres renfermaient des proportions variables d'épinette noire, d'épinette blanche et de bouleau à papier. La plupart des peuplements croissaient sur des sols bien ou passablement bien drainés, s'étaient formés sur du till (annexe I). Ces peuplements, dont l'âge variait de 45 à 62 ans, se situaient dans les classes de fertilité I et II (Vézina et Linteau, 1968) [tableau 11]. Un de ces peuplements de sapin baumier étudiés est illustré sur la photo IV.

Section forestière A.6 — Plateau du Cap-Breton

Les résultats de ce peuplement de 50 ans, de productivité moyenne, indiquaient une meilleure croissance dans quelques placettes fertilisées (tableau 13), mais aucun effet des traitements significatif du point de vue statistique ne s'est manifesté.

Section forestière B.2 — Gaspésie

Ce groupe de peuplements de sapin baumier avec une productivité passablement élevée montrait des augmentations substantielles de croissance pour tous les traitements, y compris l'azote (N) à la dose maximale d'application (tableau 13). L'azote seul et les traitements combinés ont donné des gains en VT de 9,3 à 9,8 m^3/ha, soit un accroissement relatif de l'AQ de 30 à 32 % (figure 6). Cependant, l'azote seul et les traitements combinés ont montré peu de variation lorsqu'analysés en groupe; une réaction d'une plus grande envergure avec un gain en VT de 17,6 m^3/ha a été observée dans un dispositif (Québec 5).

Section forestière L.6 — Témiscouata–Restigouche

Le seul peuplement de cette section a montré une productivité similaire à celle du groupe précédent, mais aucune réaction apparente à la fertilisation. Il n'y a aucune raison qui permette d'expliquer le phénomène.

Section forestière B.1a — Laurentides–Onatchiway

Les deux peuplements de sapin baumier (Québec 27 et 29) ont montré une productivité passablement élevée sans traitement de fertilisation (tableau 13). Des réactions significatives à la fertilisation ont été obtenues avec les traitements 2N et 2N + K (tableau 13). À cause de l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette qui y sévit depuis 1974, les gains de croissance absolus et relatifs du peuplement avec les engrais ont été quelque peu inférieurs à ceux enregistrés dans les sapinières de la Gaspésie.

Un troisième peuplement de la section forestière Laurentides–Onatchiway n'a pas été analysé à cause des graves dégâts de la tordeuse.

Sections forestières B.4 — Argiles du Nord; B.7 — Missinaibi–Cabonga et L.9 — Timagami

Les trois peuplements de sapin baumier du Nord-Ouest québécois ont montré une productivité généralement inférieure à celle des peuplements de l'Est. Une amélioration de la croissance a été obtenue, selon les dispositifs, avec quelques-uns ou avec tous les traitements (tableau 13), mais les différences entre les placettes témoins et traitées n'ont pas été significatives statistiquement. La période de réaction quinquennale a coïncidé avec une grave infestation de la tordeuse dans l'ouest du Québec, ce qui a généralement provoqué une diminution de la productivité et pourrait introduire une variation excessive entre les traitements.

Peuplier faux-tremble

Un seul dispositif a été mis en place dans la section Forêt mixte, sur un loam plus ou moins bien drainé. Le peuplement âgé de 35 ans a eu un accroissement quinquennal de 33,5 m^3/ha sans traitement. Les additions d'azote (N) seul et d'azote avec phosphore (2N + P) n'ont pas accru la croissance de façon significative. Cependant, de fortes réactions ont été observées avec 2N + K et 2N + PK (tableau 13). Ce dernier traitement a produit un gain en VT de 37,3 m^3/ha, ce qui a plus que doublé l'AQ relatif du peuplement (figure 6).

Traitements de fertilisation et mortalité des arbres

Dans la plupart des dispositifs, les peuplements avaient une densité et un volume plus élevés que la normale définie par les tables de rendements (Plonski, 1974; Vézina et Linteau, 1968). Il en est résulté une mortalité naturelle des tiges dans presque toutes les placettes. Les pertes en volume ont varié grandement selon le type de couvert et les dispositifs (annexe IV).

La mortalité naturelle des tiges entre les deux dates des mesurages s'est soldée par des pertes en volume dans les placettes témoins pour tous les dispositifs de pin gris, atteignant 40 % de l'AQ. La variation, bien que considérable entre les dispositifs, a été inconsistante. Les données moyennes du pin gris (tableau 14) n'indiquent pas l'effet des traitements de fertilisation sur la mortalité des tiges. Le taux de mortalité du pin gris, légèrement plus élevé avec le traitement 2N + PK, ne différait pas significativement des autres.

La mortalité dans les dispositifs d'épinette noire a été considérablement plus élevée que dans le pin gris à cause d'une densité généralement plus forte et un volume de bois sur pied plus élevé dans les peuplements d'épinette noire. Les pertes en volume dans les placettes témoins des 21 dispositifs d'épinette noire se sont chiffrées à 11,9 m^3/ha soit environ 53 % de l'accroissement quinquennal (AQ) moyen. La mortalité dans les peuplements d'épinette noire (tableau 14) a été constamment plus élevée pour les traitements de fertilisation. Selon les données moyennes, les pertes en volume ont été accrues d'un peu plus de 50 % par la fertilisation. Cependant ces effets n'ont pas été statistiquement significatifs.

Les peuplements mélangés d'épinette noire et de pin gris ont accusé une mortalité inférieure à celle des peuplements purs d'épinette noire. Le taux de mortalité a été faible dans les placettes témoins et dans celles traitées avec 2N + K. Quelques-uns des traitements de fertilisation peuvent avoir accru la mortalité mais les différences n'ont pas été significatives au point de vue statistique. Tous les peuplements d'épinette blanche à l'exception d'un seul, ont présenté un taux de mortalité modéré à très élevé, indépendamment des traitements. Dans les peuplements du Nouveau-Brunswick, une mortalité excessive a été la conséquence de l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Dans les autres dispositifs d'épinette blanche, la forte mortalité était surtout due à la trop forte densité du peuplement.

Les peuplements d'épinette rouge ont réagi d'une façon similaire à ceux d'épinette noire puisque le taux de mortalité a été constamment plus élevé dans les placettes traitées que dans les témoins. La raison la plus probable de cette mortalité excessive c'est la densité excessive.

Les peuplements expérimentaux de sapin baumier ont accusé un taux de mortalité variant de faible à excessif. Une grave infestation de la tordeuse a été observée dans un certain nombre de dispositifs et ces peuplements ont subi des pertes élevées en volume. Les données moyennes pour les 14 dispositifs du sapin baumier (tableau 14) n'indiquent pas d'effets significatifs des traitements de fertilisation sur la mortalité.

L'ensemble des données pour les 81 dispositifs laisse supposer que les traitements de fertilisation auraient accrû la mortalité des tiges dans les peuplements de forte densité mais qu'ils n'auraient pas affecté la mortalité dans les peuplements infestés par la tordeuse.

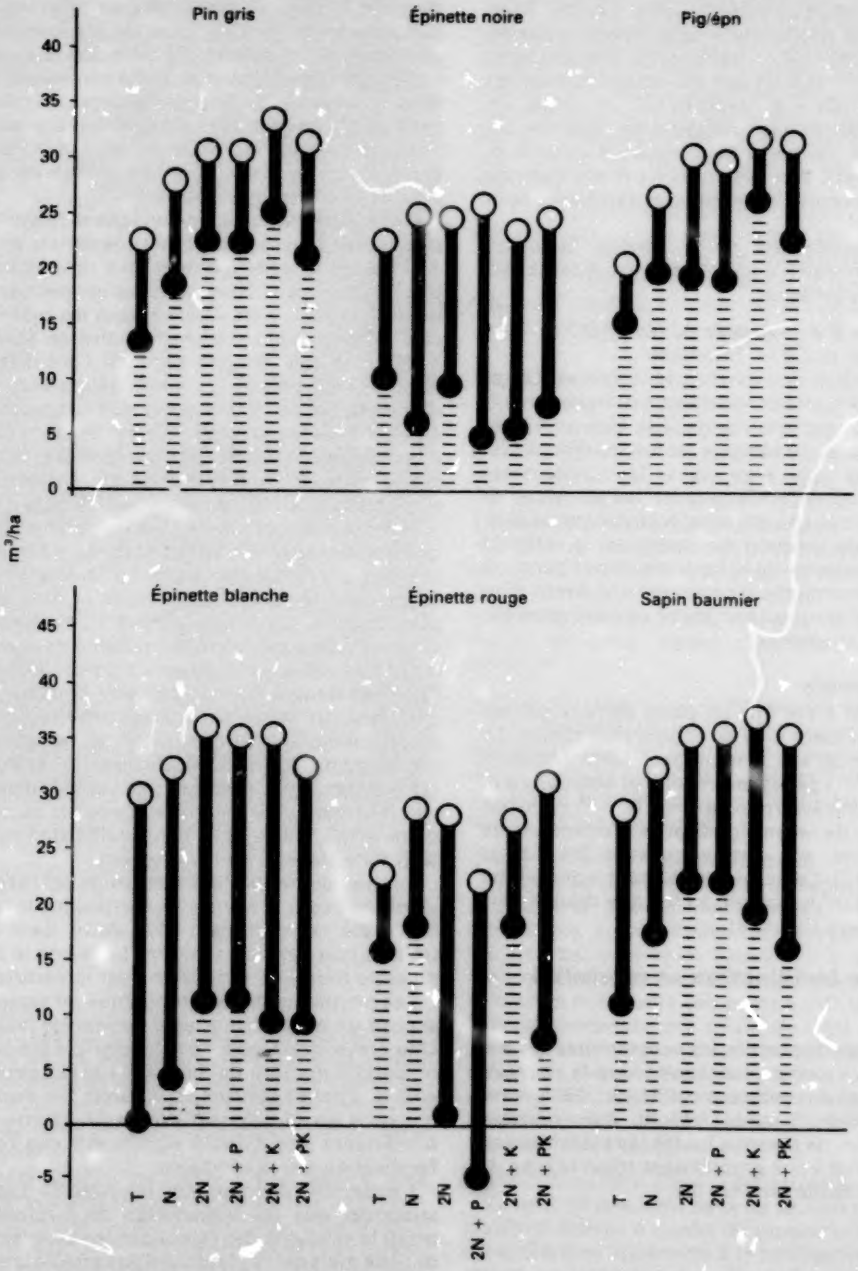


Figure 7. Accroissements brut et net en volume total selon les essences et les traitements au cours des cinq premières années consécutives à l'application d'engrais.

Les pertes en volume attribuées à la mortalité ont souvent été supérieures aux gains dus à la fertilisation dans le reste du peuplement. Souvent, cette mortalité surpassait l'accroissement quinquennal (AQ) de façon telle que le volume total actuel des peuplements expérimentaux a décrû au cours de la période de cinq ans. Les accroissements quinquennaux nets, c'est-à-dire, l'AQ brut moins le volume perdu par mortalité, sont exprimés par essence et par traitement dans la figure 7.

Cette mortalité variable pourrait avoir affecté directement le projet en réduisant les volumes des peuplements et l'accroissement quinquennal, ou indirectement en produisant un effet d'éclaircie dans quelques placettes mais pas dans toutes.

Traitements de fertilisation et recrutement

Les données du tableau 14 supposent que le passage des arbres de petits diamètres à la classe d'arbres de volume marchand pour divers types de couvert aurait pu être favorisé par la plupart des traitements de fertilisation. Par exemple, les données moyennes pour le pin gris et les peuplements mélangés de pin gris et d'épinette noire ont toujours fait ressortir un plus fort recrutement dans les placettes fertilisées que dans les témoins. Un comportement à peu près similaire a été observé dans les peuplements de sapin baumier et de peuplier faux-tremble. L'épinette blanche et l'épinette noire principalement représentées par les peuplements les plus âgés ayant peu ou pas d'arbres de taille non-marchande au début des essais n'ont pas présenté de modèles de recrutement consistants.

Accroissement quinquennal et réaction à la fertilisation en fonction des conditions de peuplement

Les peuplements expérimentaux variaient beaucoup selon l'âge, l'indice de station, la densité initiale et le volume sur pied. Ces variables reflètent la productivité antérieure du peuplement et elles ont vraisemblement modifié les réactions aux traitements de fertilisation. Pour quantifier les corrélations possibles entre l'accroissement quinquennal (AQ), la réaction à la fertilisation et les variables du peuplement, les données des peuplements purs de pin gris et d'épinette noire ont été soumises à des analyses de régressions multiples.

Environ 60 % de la variation de l'accroissement quinquennal (AQ) dans les placettes témoins de pin gris (AQo) des 29 dispositifs s'expliquait par les différences de surface terrière (ST) et d'âge (A).

$$AQo = 0,17 + 0,98\,ST - 0,34\,A \qquad R^2 = 0,58 \qquad (1)$$

Dans l'équation (1), l'AQo est exprimé en m^3/ha, la ST en m^2/ha et l'âge en années. Comme prévu, l'accroissement quinquennal augmentait avec la surface terrière (ST) et diminuait avec l'âge. Cette corrélation était significative au niveau de probabilité de 1 % (P = 0,01). Le volume total et l'indice de station n'ont pas contribué d'une façon significative à la régression de l'AQo dans les peuplements de pin gris.

Les analyses statistiques ont montré différents niveaux de corrélation entre la réaction (ΔAQ) du pin gris et les variables du peuplement. Cependant, la régression de ΔAQ n'était significative que pour le traitement 2N + K (P = 0,05).

$$\Delta AQ\ (2N+K) = 12,34 + 0,06\,TV - 0,24A \quad R^2 = 0,33 \quad (2)$$

L'équation (2) prédit une augmentation de la réaction de 6 m^3/ha pour chaque 100 m^3/ha additionnel en volume sur pied à un âge constant. La réaction doit vraisemblement diminuer avec l'âge. Cependant, le volume total (VT) initial et l'âge n'expliquaient que 33 % de la variation observée dans la réaction du pin gris suite au traitement 2N + K. L'indice de station et la surface terrière n'ont pas contribué de façon significative à la régression de ΔAQ (2N + K).

Les analyses des données sur l'épinette noire ont révélé une faible corrélation ($R^2 = 0,42$) entre l'accroissement quinquennal (AQ) des placettes non traitées et les quatre variables du peuplement préalablement analysées pour le pin gris. Les corrélations entre les réactions à l'azote (N) et les variables du peuplement n'étaient pas significatives, mais apparemment, les réactions aux traitements de fertilisation P et K dépendaient en partie des conditions du peuplement.

$$\Delta AQ\ (2N+PK) = 0,1 + 0,82\,ST - 0,1\,VT - 0,09\,A \qquad R^2 = 0,52 \qquad (3)$$

Les trois variables du peuplement, ST, VT et âge, expliquaient 52 % de la variation de réaction au traitement 2N + PK observée pour l'épinette noire. L'indice de station n'a pas eu une contribution importante dans la régression. Comme pour le pin gris, les réactions aux applications d'engrais diminuaient avec l'âge. Pour une surface terrière (ST) donnée, la réaction attendue devrait décroître avec le volume total initial (VT). Un volume total élevé (VT) peut refléter un peuplement âgé, une qualité de station élevée ou les deux à la fois, lorsque la réaction à la fertilisation est moins bonne que prévue. La régression indiquée par l'équation (3) était significative à P = 0,01.

Accroissement quinquennal et réaction à la fertilisation en fonction des teneurs du feuillage en éléments

Les résultats d'analyses des éléments du feuillage étaient disponibles pour tous les peuplements du Québec, pour quelques dispositifs de pin gris et d'épinette noire de l'Ontario et pour plusieurs peuplements d'épinette blanche du Nouveau-Brunswick et de l'Alberta (tableaux 2, 6 et 11). Les données des analyses foliaires du pin gris et de l'épinette noire ont été soumises à des analyses de régression et de corrélation pour faire ressortir les relations possibles entre l'accroissement quinquennal (AQo) des placettes témoins et les teneurs en éléments du feuillage ou entre la réaction à la fertilisation et les teneurs du feuillage en éléments.

L'accroissement quinquennal (AQ) du pin gris dans les placettes témoins accusait de faibles corrélations avec les concentrations dans le feuillage des cinq éléments nutritifs déterminés. Les coefficients de corrélation simple (r) variant de 0,43 à 0,56. Dans les analyses de régression multiple, à peu près 60 % de l'accroissement quinquennal (AQo) des placettes témoins du pin gris s'expliquait par les différences de concentrations de N, P, K, Ca et Mg dans le feuillage. Cependant la régression de l'AQo sur les concentrations d'éléments dans le feuillage n'était pas significative au point de vue statistique vu le faible nombre de dispositifs disponibles pour cette analyse.

Il y avait une relation significative pour la réaction du pin gris entre le traitement 2N et les concentrations d'éléments dans le feuillage.

$$\Delta AQ(2N) = 0{,}37 - 25{,}2\,N + 159{,}3\,P - 41{,}9\,K - 3{,}4\,Ca + 363{,}4\,Mg \quad R^2 = 0{,}80 \qquad (4)$$

Les concentrations de N, P, K, Ca et Mg dans le feuillage expliquaient 80 % de la variation de la réaction à ce traitement. L'omission du calcium n'affectait que très peu le coefficient de détermination ($R^2 = 0{,}799$). D'autre part, les analyses de régressions multiples ont fait ressortir davantage Mg et K comme les variables les plus importantes.

Le rôle important du Mg dans la régression de ΔAQ (2N) est difficile à expliquer. Le dispositif expérimental ne prévoyait pas de magnésium dans les traitements. Ainsi, il ne peut être établi que les composantes de la régression qui se rapporte au Mg réflètent une relation de cause à effet ou que le Mg seul est une variable étroitement liée à celle qui contrôle la réaction à la fertilisation. Cependant, Morrison *et al.* (1976a) ont réalisé une expérience avec le magnésium: ils ont signalé une faible réaction (qui n'a pas été confirmée sur le plan statistique) à l'addition de Mg combiné avec N et P pour certaines doses d'application.

La régression de ΔAQ (2N) avec les concentrations d'éléments dans le feuillage du pin gris était significative à $P = 0{,}05$. Les régressions des réactions du pin gris aux traitements 2N+P, 2N+K et 2N+PK avec les concentrations d'éléments dans le feuillage n'étaient pas significatives. Les régressions des réactions de l'épinette noire sur les concentrations d'éléments dans le feuillage n'étaient pas significatives non plus.

Station, accroissements quinquennaux et réaction à la fertilisation

Les caractéristiques du site de chaque dispositif ont été identifiées au moment de l'établissement des placettes. Les principales variables du site considérées étaient: la pente, l'origine et la texture de la roche-mère, le drainage, la profondeur d'enracinement et la composition du couvert végétal (annexe I).

Les rapports entre l'accroissement quinquennal (AQ) ou la réaction aux traitements et les variables de la station identifiées sur le terrain n'ont pu être quantifiés au cours de l'analyse des données effectuée en vue de ce rapport. Les variables de la station ne semblent pas avoir joué de rôle important sur la croissance et la réaction à la fertilisation et de plus, les descriptions des stations ont été effectuées par des chercheurs différents dans chacune des huit provinces participantes. La subjectivité est inévitable dans ce genre d'évaluation et c'est ce qui aurait pu contribuer à ce manque apparent de rapport significatif, au point de vue statistique, entre la réaction à la fertilisation et les données de la station.

Discussion

Réaction au traitement à l'azote

Les augmentations de croissance ont été significatives dans 9 des 14 groupes de dispositifs des différentes sections forestières et dans 16 des 81 dispositifs après l'application d'azote seul. Les réactions étaient plus fréquentes et tendaient à être plus fortes avec le traitement 2N (224 kg/ha) qu'avec N (112 kg/ha). Les réactions variaient aussi avec l'essence et la section forestière mais sans aucune tendance précise.

Ampleur de la réaction

Pin gris

Pour les peuplements de pin gris où les traitements ont eu des effets significatifs, l'accroissement obtenu pour 112 et 224 kg/ha d'engrais azoté variait de 0,8 à 3,2 m^3/ha par an et de 1,3 à 3,8 m^3/ha par an, respectivement. Les réactions à l'azote avaient tendance à être plus élevées dans les sections Missinaibi-Cabonga et Haut de la rivière des Anglais que dans les autres parties des régions forestières Boréale et des Grands lacs et du Saint-Laurent. Ces observations concordent généralement avec les résultats enregistrés dans d'autres études.

Morrison *et al.* (1976*b*, 1977*a* et 1977*b*) ont mesuré des accroissements annuels courants (AAC) pour 5 ans, aussi faibles que 1,2 et dépassant 2,5 m^3/ha à la suite de l'application de 200 à 250 kg/ha d'azote (N). Ces auteurs ont insinué l'existence d'une relation inverse entre la réaction à la fertilisation et la qualité stationnelle.

Hoyt (1973) a trouvé un AAC de près de 1,5 m^3/ha dans deux peuplements de pin gris d'âge moyen du Nouveau-Brunswick au cours des cinq premières années consécutives à l'application de 168 kg/ha d'azote (N). Il a souligné que ces peuplements représentaient la classe de fertilité I et qu'il espérait des AAC moyens plus élevés dans des peuplements de qualités stationnelles inférieures. Les données du programme interprovincial n'ont pas réussi à montrer l'existence de relation mesurable entre l'indice de station ou les accroissements courants et la réaction à la fertilisation.

La fertilisation azotée des sols dans des plantations de pin gris à l'état de perchis a produit des accroissements annuels courants (AAC) similaires à ceux obtenus dans les peuplements naturels (Leech, 1969; Timmer et Morrow, 1980).

Épinette noire

Dans les dispositifs d'épinette noire où N a eu des effets significatifs, l'accroissement annuel courant a été accru de 1,1 m^3/ha ou 27 % (Québec 35) avec 112 kg/ha, et de 2 m^3/ha ou 76 % (Québec 36) avec 224 kg/ha d'N. Dans les sections forestières Laurentides–Onatchiway et Missinaibi–Cabonga, les réactions moyennes ont été de 0,8 et 0,7 m^3/ha par an, (22 % dans les deux cas) à la dose minimale de N, et 1 et 0,3 m^3/ha par an, (22 et 8 %) avec le traitement 2N. À titre de comparaison, Van Nostrand (1979) a rapporté des AAC de 2,3 et 2,6 m^3/ha (74 et 102 %) sur une période de neuf ans avec une application fractionnée de 202 kg/ha de N dans deux peuplements d'épinette noire à Terre-Neuve.

Les expériences de fertilisation de deux peuplements d'épinette noire au Nouveau-Brunswick ont produit un gain annuel de 1 m^3/ha pour les deux sites pendant la période de cinq ans consécutive à l'application de 168 kg/ha de N. Les réactions relatives correspondantes ont été de 18 et 29 % respectivement (Krause, 1981). Weetman *et al.* (1980) ont relaté une réaction similaire pour l'épinette noire croissant en montagne au Québec à une dose d'application de 112 kg/ha de N avec un accroissement double lorsque la dose était de 448 kg/ha. L'effet de la fertilisation sur l'épinette noire lors d'un essai dans le nord de l'Ontario (Morrison et Foster, 1979) a été comparable aux résultats obtenus au Nouveau-Brunswick. Une application à raison de 150 kg/ha de N a augmenté l'AAC de près de 0,9 m^3/ha ou 14 %. Les plus faibles réactions relatives à l'application d'azote ont été observées lors des résultats préliminaires d'essais dans des plantations d'épinette noire dans le nord de l'Ontario (Timmer et Morrow, 1980).

D'autres études ont démontré que les carences d'azote sont courantes dans les peuplements d'épinette noire d'âge moyen ou en voie de maturation dans l'Est du Canada. La variété de réaction à des doses d'application identiques d'engrais azotés serait due aux différences de conditions des peuplements (voir équation 3) et aux niveaux de fertilité des sols avant le traitement. De plus, d'autres expériences de même que les essais effectués dans le cadre du programme interprovincial font ressortir que les gains en volume par unité de poids d'azote appliqué, auraient tendance à être plus faibles dans les peuplements d'épinette noire que dans ceux de pin gris.

On peut expliquer de plusieurs façons le peu d'effet significatif de la fertilisation dans les peuplements d'épinette noire du programme interprovincial. Le programme comprend un certain nombre de vieux peuplements dans lesquels les réactions sont moins probables, si l'on se base sur l'équation (3). Plusieurs stations sont caractérisées par un excès d'eau et d'autres auraient des teneurs en éléments suffisantes pour subvenir aux besoins du peuplement. Finalement, même si elle n'est pas significative au point de vue statistique, la croissance des placettes traitées avec l'azote a été supérieure à celle des témoins dans 5 des 21 dispositifs. Ainsi, les véritables effets de l'azote ont probablement été atténués par de fortes variations entre les traitements dans plusieurs dispositifs.

Épinette blanche

L'accroissement annuel courant (AAC) au cours des cinq années dans les trois peuplements d'épinette blanche a été augmenté de 2,4 m^3/ha, ce qui en fait une des réactions les plus élevées aussi bien pour le programme interprovincial que pour d'autres essais. Par contre, Morrison et Foster (1979) ont fait état de réactions inverses aux résultats d'essais menés en Alberta: à ce sujet, ils mentionnent que des traitements à l'azote seul n'ont pas stimulé la croissance d'un peuplement à prédominance

d'épinette blanche dans le nord de l'Ontario. Le peuplement en question avait un AAC d'environ 9 m^3/ha dans les placettes témoins. Ces auteurs ont cru que l'absence de réaction de ce peuplement productif confirmait leur observation selon laquelle les forêts en pleine vigueur ne réagissent que faiblement aux traitements. Cette explication pourrait s'appliquer aussi au peuplement productif d'épinette blanche de la Nouvelle-Écosse dans lequel on n'a pas obtenu d'effet significatif des traitements sur la croissance.

Épinette rouge

Pour cette essence, il existe peu d'information en provenance d'autres expériences. Un peuplement d'âge moyen à dominance d'épinette rouge situé au coeur du Nouveau-Brunswick a réagi au traitement à l'azote à raison de 168 kg/ha avec un accroissement annuel courant (AAC) de 1,8 m^3/ha ou 50 % (Krause, 1981). Cette réaction est considérablement plus élevée que celle de l'épinette rouge au traitement 2N dans la section de la Côte de Fundy (Nouvelle-Écosse 4), le seul dispositif d'épinette rouge du programme interprovincial où les traitements ont eu des effets significatifs.

Sapin baumier

Dans les dispositifs de sapin baumier où l'azote a eu des effets significatifs, l'accroissement annuel courant (AAC) au cours des cinq années a augmenté de 2,1 m^3/ha avec le traitement à l'azote (Québec 5) et de 3,1 m^3/ha pour les deux doses d'application (Québec 6). Dans le groupe des six peuplements de la section de la Gaspésie, un accroissement moyen de l'AAC de 1,9 m^3/ha a été observé. Une réaction semblable est signalée par Gagnon *et al.* (1979) dans un autre peuplement de sapin baumier au Québec. L'accroissement annuel courant (AAC) a été accru de 1,3 m^3/ha au cours d'une période de 10 ans après une application d'azote à raison de 112 kg/ha.

Des gains plus faibles à l'azote ont été enregistrés à la suite des traitements dans plusieurs expériences au Nouveau-Brunswick. L'AAC a été augmenté de façon significative de 0,9 et 0,5 m^3/ha au cours de la période quinquennale consécutive à l'application de 168 kg/ha d'azote dans des peuplements de sapin baumier, respectivements purs et mélangés (Krause, 1981). Un des peuplements représentait un site productif où l'insuffisance d'azote n'a pas affecté grandement la croissance. Un autre peuplement a été endommagé par la tordeuse. Dans un autre essai sur le sapin baumier au Nouveau-Brunswick (Hoyt, 1973), l'application de 168 kg/ha de N n'a pas augmenté la croissance de façon significative.

Photo 5 Couvert vertical au sol, peuplement d'épinette noire dans l'Ontario.

Plusieurs peuplements de sapin baumier ont été endommagés par l'infestation de la tordeuse des bourgeons de l'épinette qui a, sans aucun doute, modifié la croissance et la réaction de ces dispositifs à la fertilisation. Le programme interprovincial ainsi que les autres études distinctes laissent supposer que les arbres croissant sur des sols fertilisés ne sont pas plus résistants aux insectes. Les petites placettes conventionnelles sont facilement attaquées. Cependant, les observations de Sheedy (1977) ont un intérêt particulier; un bassin de 120 ha, fertilisé à l'azote par voie aérienne, est demeuré peu affecté par la tordeuse en dépit de la présence de l'insecte dans la forêt adjacente.

Dose d'application

Les courbes typiques des réactions à la fertilisation en forêt montrent que les rendements diminuent à mesure que les doses d'application augmentent et ce, jusqu'à ce que le maximum de productivité soit atteint; au-delà de ce point, la croissance diminue si les doses d'application augmentent (Malm et Moller, 1974; Morrison *et al.*, 1976*b*). Les essais effectués dans le cadre du programme interprovincial avec trois doses d'application d'azote n'ont pas permis de tracer les courbes des réactions continues. Cependant, quelques aspects liés aux doses d'application méritent d'être discutés.

Pour l'ensemble des dispositifs où les traitements ont eu des effets significatifs, les réactions moyennes du pin gris aux additions d'azote à raison de 112 kg/ha et 224 kg/ha se sont chiffrées à 10,1 et 12,7 m^3/ha respectivement ou 9 et 5,6 m^3 de bois pour chaque 100 kg d'azote ajouté. Dans le groupe de peuplements de pin gris de la section Haut de la rivière des Anglais, les augmentations moyennes de l'AQ pour N et 2N ont été de 7,5 et 10,8 m^3/ha respectivement, ce qui correspondait à 6,6 et 4,8 m^3 de bois par 100 kg d'azote. Cette diminution rapide des rendements obtenus avec des doses d'engrais plus fortes laisse supposer que les gains en volume observés avec 224 kg/ha de N sont près de la réaction maximale. Cette observation concorde avec les résultats de Morrison *et al.* (1976*b*) qui ont enregistré des gains maximums dus à la fertilisation d'un peuplement de pin gris avec 224 kg/ha et une diminution dans la réaction avec une application de 448 kg/ha de N sous forme d'urée. Par conséquent, des doses d'application supérieures à 224 kg/ha de N dans les peuplements de pin gris ne seraient pas justifiées. Dans les essais opérationnels de fertilisation, des doses d'application inférieures à 200 kg/ha de N seraient préférables à cause des diminutions rapides des rendements au-dessus de 112 kg/ha.

Les dispositifs individuels d'épinette noire présentant des effets significatifs de l'azote ont accusé des réactions de 4,5 et 5,4 m^3/ha à l'application de N à la dose minimale et de 10,1 m^3/ha à la dose maximale. Cependant, dans le groupe de peuplements d'épinette noire de la section Laurentides–Onatchiway, l'accroissement quinquennal (AQ) avec le traitement 2N n'excédait que très légèrement celui du traitement à l'azote (N). Pour ceux de Missinaibi–Cabonga, la réaction moyenne au traitement 2N a été inférieure à celle du traitement à l'azote. Ainsi, il ne semble pas tellement évident que les doses d'application supérieures à 112 kg/ha de N soient justifiées. Morrison et Foster (1979) n'ont obtenu aucune réaction additionnelle dans un peuplement d'épinette noire lorsque les doses d'application ont été accrues au-dessus de 150 kg/ha de N. Cependant, Weetman *et al.* (1980) ont signalé que la réaction d'un peuplement d'épinette noire à l'application d'azote à raison de 112 kg/ha a doublé lorsque la dose a été portée à 448 kg/ha. Apparemment, la dose maximale d'application d'urée a fait plus que simplement apporter une quantité additionnelle d'azote. Il est probable qu'elle ait modifié les propriétés chimiques, physiques et biologiques de la couverture morte, provoquant ainsi une plus grande disponibilité de l'azote initial et une accélération du cycle des éléments (Weetman *et al.*, 1980).

Les données du programme interprovincial pour le sapin baumier n'encouragent pas l'emploi de fortes doses d'azote. Dans le groupe de peuplements d'épinette blanche de la section Forêt mixte, les accroissements obtenus à la suite du traitement 2N semblent démontrer un gain appréciable en volume (tableau 12). Cependant, les données ne sont pas concluantes et un dispositif d'essais de dosage serait nécessaire pour montrer clairement l'effet de la dose d'application sur la réaction.

Supports de l'azote

Dans le cadre du programme interprovincial, l'urée a été choisie parce que c'est le type d'engrais azoté préféré dans les opérations de fertilisation en Amérique du Nord (Bengtson, 1976). À la fin des années 60 et 70, les chercheurs scandinaves ont démontré que le nitrate d'ammonium favorisait une meilleure réaction que l'urée chez l'épinette de Norvège et le pin sylvestre (Malm et Moller, 1974). Par conséquent, le nitrate d'ammonium avait remplacé l'urée dans plus de 50 % des travaux de fertilisation des forêts au début des années 70 (Bengtson, 1976).

Différentes raisons ont été suggérées pour expliquer la supériorité du nitrate d'ammonium: l'application d'urée par une température chaude et sèche peut être suivie de pertes importantes de NH_3 par volatilisation, surtout sur un sol de texture grossière recouvert d'une mince couche d'humus (Carrier et Bernier, 1971; Bernier *et al.*, 1972); la *fixation et l'immobilisation de N-urée par la couche d'humus* brut (Overrein, 1970); et le ralentissement de l'hydrolyse de l'urée due à une rareté d'uréase (Brantseg, 1967).

Sur le continent nord-américain, le nitrate d'ammonium s'est avéré supérieur à l'urée dans une expérience sur le pin gris au Québec (Weetman et Algar, 1974) et dans les essais sur le Douglas taxifolié en Oregon (Harrington et Miller, 1979). Par contre, Morrison *et al.* (1976*a*) n'ont pu détecter de différences entre les réactions du pin gris au nitrate d'ammonium et à l'urée dans le nord de l'Ontario. D'importantes études sur les forêts de pin du sud-est des États-Unis n'ont pas permis de faire ressortir des différences majeures entre l'efficacité de l'urée et celle du nitrate d'ammonium en tant que sources d'azote (Bengtson, 1976).

Plus récemment, les travaux de Camire (1980) sur des jeunes peuplements de pin gris au Québec, ont démontré la supériorité du sulfate d'ammonium sur l'urée à la suite de traitements appliqués en automne. Cette observation complique davantage le choix du type d'engrais azoté. L'aménagiste forestier a besoin d'informations supplémentaires pour faire un choix logique entre les types d'engrais azotés généralement utilisés.

Effets peu concluants du phosphore et du potassium

Dans le premier rapport sur les résultats quinquennaux du programme interprovincial (Weetman *et al.*, 1976), l'azote (N) apparaissait comme le seul traitement ou composante de traitement généralement efficace pour augmenter la croissance des arbres, bien qu'on ait obtenu une croissance maximale dans des placettes fertilisées au moyen des traitements combinés 2N + P, 2N + K et 2N + PK. Ce trait général de la réaction est encore évident après l'évaluation des 82 dispositifs. Dans plusieurs installations, des augmentations significatives de la croissance sont survenues à la suite des traitements 2N + P, 2N + K et 2N + PK mais non pour les traitements d'azote seul.

On présume que, suivant le principe des facteurs limitatifs, des carences en un ou de plusieurs autres éléments pouvaient s'amplifier à mesure que l'apport d'azote s'accroît. L'analyse foliaire a montré de faibles concentrations de P ou de K, en outre des faibles concentrations d'azote dans plusieurs peuplements. De plus, le phosphore (P) est un facteur important dans l'équation (4) qui lie la réaction du pin gris aux concentrations d'éléments dans le feuillage. Cependant, les essais du programme interprovincial n'ont pas prouvé qu'il existait des limitations de croissance dues à des carences en P et de K dans les différentes sections forestières couvertes par ce programme.

Morrison *et al.* (1976*a*) et Morrison et Foster (1979) ont observé des réactions similaires dans leurs études sur la fertilisation des forêts de pin gris et d'épinette noire dans le nord de l'Ontario. Des dispositifs factoriels établis dans des peuplements de pin gris, d'épinette noire, d'épinette et de sapin baumier et dans des peuplements purs de sapin baumier du Nouveau-Brunswick fertilisés avec deux doses de N, P et K, ont démontré fréquemment des augmentations de croissance avec P et K mais les interactions significatives sur le plan statistique n'étaient pas évidentes et seul l'azote a produit un effet vraiment significatif (Hoyt, 1973; Krause, 1981). Les essais de van Nostrand (1979) sur l'épinette noire à Terre-Neuve sont d'autres exemples importants d'effets non significatifs sur l'accroissement en volume après une application de P.

La preuve d'une croissance améliorée due à une interaction de N avec P a été récemment démontrée par Morrison et Foster (1979). À partir d'un dispositif factoriel dans un peuplement mélangé d'épinette et de sapin baumier, leurs données indiquaient un gain en volume total (TV) de 11,3 m^3/ha pour le traitement combiné N et P mais des effets négatifs ont été enregistrés quand l'un ou l'autre de ces éléments étaient appliqués séparément.

L'expérience finlandaise a démontré que le phosphore (P) combiné à l'azote (N) pouvait parfois prolonger les effets de la fertilisation azotée (Viro, 1971).

Il est requis d'entreprendre de nouvelles expertises pour étudier les rôles de P et K en fertilisation des forêts face à l'imprécision de l'information actuellement disponible.

Efficacité de la fertilisation

La quantité d'engrais requise pour produire une unité de volume en bois est une valeur utile dans la planification et l'évaluation des programmes de fertilisation des forêts. C'est un paramètre de l'efficacité de la fertilisation.

Des dispositifs de pin gris montrant des réactions significatives aux traitements N (112 kg/ha) et 2N (224 kg/ha) présentaient des gains en volume total (VT) de 4,2 à 15,9 m^3/ha et de 6,6 à 19,8 m^3/ha respectivement. Ces valeurs correspondaient à un besoin d'engrais azoté de 7 à 26,7 kg/m^3 et de 11,7 à 34,9 kg/m^3 de bois. Pour les peuplements d'épinette noire affichant des réactions significatives de croissance, les besoins en engrais azotés étaient de 20,7 à 25,9 kg/m^3 à la dose d'application minimale et de 22,2 kg/m^3 à la dose maximale. Dans les peuplements de sapin baumier les proportions variaient entre 22 et 44 kg/m^3. Les proportions obtenues pour le pin gris et l'épinette noire sont généralement comparables aux observations suédoises. Le pin sylvestre et l'épinette de Norvège ont démontré des exigences moyennes de 23 et 27 kg/m^3 respectivement pour le bois produit par la fertilisation à l'urée à raison de 224 kg/m^3 d'azote (Johnsson, 1977).

Les études sur la nutrition du Douglas taxifolié dans la région forestière du nord-ouest du Pacifique sont particulièrement intéressantes sur le plan de l'efficacité de la fertilisation. Les quantités requises d'azote pour produire un volume additionnel de bois en l'espace de 4 ans après une fertilisation avec l'urée à raison de 224 et 448 kg/ha n'étaient que de 12 et 22 kg/ha. Le recyclage des éléments nutritifs appliqués est probablement la condition requise pour une efficacité élevée. Dans les régions mieux favorisées au point de vue du climat comme celles du Douglas taxifolié dans l'Ouest, le cycle des éléments nutritifs est plus rapide que dans les régions boréales du Canada et de la Scandinavie; il est aussi plus rapide dans les forêts de pin comparées aux peuplements d'épinette (Krause *et al.*, 1978).

Selon les résultats obtenus en Suède (figure 8) l'efficacité de la fertilisation serait fortement dépendante de la dose d'application des engrais. Sur la base d'une durée de réaction de cinq ans, la quantité requise d'engrais pour produire un mètre cube de bois de pin sylvestre est la plus basse avec environ 180 kg/ha et s'accroît jusqu'à plus de 250 kg/ha. Pour l'épinette de Norvège, la quantité d'azote requise pour produire un mètre cube de bois s'accroît d'une façon linéaire à des taux d'application variant de 120 à 600 kg/ha. Parce que la réaction n'est habituellement pas terminée après cinq ans, ces résultats suédois indiquent une efficacité plus grande de la fertilisation lorsqu'on l'estime sur une période de 10 ans. En outre, l'efficacité maximale tend vers une application à des doses plus fortes sur une base de 10 ans au lieu de 5 ans.

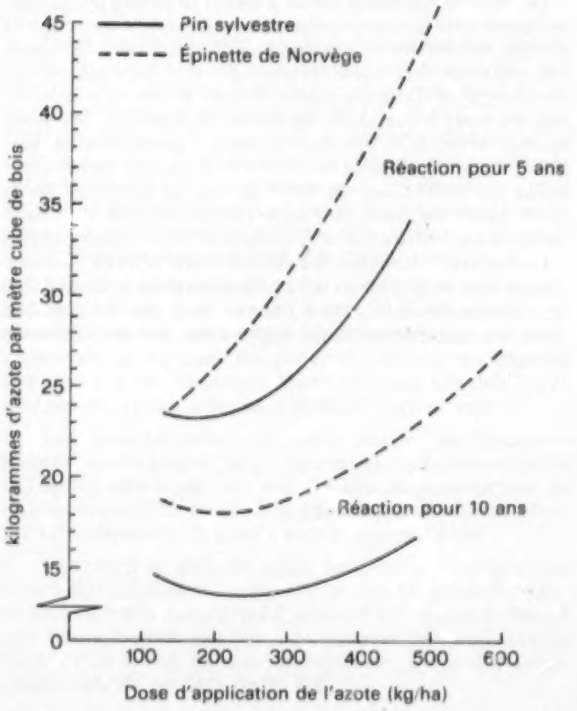


Figure 8. Quantités requises d'azote sous forme d'urée pour produire un mètre cube de bois (en volume total), pour le pin sylvestre et l'épinette de Norvège en fonction de la dose d'application (tiré de Johnsson, 1977).

Prédiction de la réaction

La prédiction de la réaction à la fertilisation est le but principal de la plupart des expertises sur le terrain. Rosvall (1979) a développé un modèle de prédiction de la réaction basé sur l'expérience scandinave, dans lequel l'indice de station est le facteur-clé. Les réactions absolue et relative sont supposées décroître à mesure que l'indice de station croît.

Dans le programme interprovincial, la qualité de station ne contribue pas d'une façon significative à la régression sur la réaction à la fertilisation. Parmi les facteurs du peuplement, l'âge, la surface terrière initiale et le volume total initial ont été les variables les plus importantes (voir les équations 2 et 3). Cependant, les modèles de régression basés sur les caractéristiques du peuplement avaient une faible précision et ne pouvaient servir à prédire la réaction. L'analyse foliaire semblait plus prometteuse. En se basant sur l'équation (4), on peut prévoir une réaction assez précise du pin gris aux traitements azotés, à partir des concentrations foliaires des macro-éléments généralement analysés. L'élaboration de modèles efficaces de prédiction, ressemblant à l'exemple suédois pour la complexité (Rosvall, 1979), nécessiterait des essais additionnels aussi bien que des études systématiques sur le comportement des éléments nutritifs dans le sol et dans la plante.

Les mesures de masse des aiguilles et des teneurs en éléments un an après le traitement peuvent servir à prédire rapidement les résultats aux longues périodes de tests empiriques (5 à 10 ans). Une telle approche a été essayée pour le sapin baumier (Timmer et Stone, 1978) aussi bien que pour le pin gris et l'épinette noire (Timmer et Morrow, 1980).

Considérations économiques et implications des résultats quant à l'aménagement forestier

La fertilisation peut s'évaluer au niveau du peuplement et au niveau de la forêt. Le programme interprovincial est d'abord orienté en fonction des bénéfices au niveau du peuplement, c'est-à-dire la production supplémentaire de bois dans un endroit donné.

Nadeau (1977), utilisant les résultats de quelques dispositifs de pin gris du programme interprovincial, a calculé les profits directs et indirects de la fertilisation pour le gouvernement et les compagnies. Le taux de rendement en dollars courants était positif et variait de 3 à 12 %.

Tucker (1974), dans une analyse économique détaillée des résultats de la fertilisation dans le nord-ouest de l'Ontario, a montré que la fertilisation du pin gris peut être financièrement intéressante pour les gouvernements provinciaux si la valeur ajoutée par la fabrication sert à calculer la valeur actuelle de la quantité de bois supplémentaire et si une rareté de bois existe au moment de la récolte des peuplements fertilisés. Il a montré aussi que les profits peuvent être augmentés si l'accroissement annuel supplémentaire prévu est récolté chaque année (effet de coupe permise) ce qui réduit les frais d'intérêt.

Cependant, les valeurs réelles données par Tucker pour la valeur présente nette doivent être examinées prudemment car elles sont basées sur les premières réactions d'essais qui devaient durer 10 ans. De plus, les taux d'intérêts et les coûts des engrais, de la matière première et des produits manufacturés ont beaucoup varié au cours des dernières années. Ainsi, l'évaluation économique doit se faire pour chaque traitement de fertilisation et être révisée à mesure que les principaux paramètres changent avec le temps.

Dans plusieurs régions, l'aspect le plus encourageant de la fertilisation des forêts a consisté en la réduction des problèmes soulevés par les écarts de classes d'âge. Un des choix qui s'offrent à l'aménagiste forestier face à de tels problèmes est d'utiliser des engrais pour augmenter rapidement la croissance des peuplements les plus jeunes. Combinée à l'éclaircie, la fertilisation procurerait un rendement particulièrement élevé qui peut être considéré comme valeur stratégique (Service canadien des forêts, 1973). Quelques-uns des présents essais de fertilisation en Colombie-Britannique sont basés sur ces considérations.

Les difficultés de réaliser cet important profit de la fertilisation dans les différentes régions du Canada semblent dues à:

1– l'absence de développement dans la planification des stratégies d'aménagement forestier;
2– une piètre utilisation des essences et des peuplements à faible croissance;
3– des problèmes de risques élevés liés aux pertes par les chablis et les insectes dans les forêts non aménagées;
4– de vastes réserves constituées principalement de peuplements ayant dépassé l'âge de la maturité;
5– des droits de coupe trop faibles sur les terres publiques;
6– un manque d'encouragement envers la culture de l'arbre en forêt publique;
7– des économies forestières régionales dominées par les faibles cours du bois à pâte et des copeaux.

À mesure que la demande locale en bois devient plus forte et que quelques-unes des contraintes précédentes diminuent, la fertilisation des forêts offrira de plus en plus d'attrait.

Carences dans les expériences du programme interprovincial

En choisissant le type de dispositif expérimental, on espérait que deux répétitions par traitement avec des placettes soigneusement établies, des arbres mesurés et remesurés à 0,25 mm près (0,01 pouce) assureraient une précision suffisante pour détecter les effets dus aux traitements. Apparemment, ce but n'a pas été atteint dans plusieurs dispositifs. Une précision expérimentale plus élevée, qui aurait probablement été obtenue avec un plus grand nombre de répétitions par traitement, serait nécessaire pour prouver les effets des additions de P et K. En se basant sur l'expérience des équipes sur le terrain, il était déjà difficile de localiser des peuplements suffisamment uniformes et assez grands pour satisfaire les besoins d'un dispositif simplifié.

Le taux de mortalité élevé a réduit la précision de l'expérience dans plusieurs dispositifs. Avec une densité très élevée, les pertes excessives en volume dues à la mortalité naturelle des tiges auraient pu être prévues car les peuplements naturels d'âge moyen et les futaies aménagées sont rares dans les forêts du Canada. Un autre facteur important est que dans les peuplements surabondants, l'épaisseur du couvert ne peut se développer après un traitement de fertilisation. Le potentiel de la fertilisation ne peut être entièrement réalisé que lorsqu'on la combine à l'éclaircie (Johnsson et Moller, 1976).

La malencontreuse coïncidence entre la mise en place des essais et le début de l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette a causé une perte de données dans les peuplements de sapin baumier et d'épinette blanche.

Résumé et conclusions

1. Le pin gris a réagi d'une façon significative aux traitements de fertilisation dans cinq des sept sections forestières et dans 13 des 29 dispositifs. Même si les augmentations de croissance ont été plus élevées avec les traitements combinées 2N + P, 2N + K et 2N + PK, les différences entre les traitements à l'azote seul et les traitements combinés n'étaient pas significatives sur le plan statistique. Dans les peuplements où les traitements ont eu des effets significatifs, l'accroissement quinquennal (AQ) s'est accrû de 6,6 à 19,1 m^3/ha.

2. La fertilisation a amélioré la croissance de l'épinette noire d'une façon significative dans 2 des 4 sections forestières et dans 2 des 21 dispositifs pris séparément. Selon les moyennes des sections Laurentides–Onatchiway et Missinaibi–Cabonga, l'engrais azoté a été tout aussi efficace à l'une ou l'autre doses utilisées et les additions de P et de K n'ont pas affecté la croissance davantage que l'azote seul.

3. Dans la section Forêt mixte, la croissance des peuplements mélangés de pin gris et d'épinette noire a été augmentée par l'addition d'azote à la dose maximale et par toute combinaison de traitements à N, P et K. Bien que certains dispositifs aient montré des augmentations de croissance plus grandes avec les traitements combinés qu'avec les traitements d'azote seul, les effets de P et K n'ont pas été significatifs au point de vue statistique. Le pin gris a mieux réagi à l'addition d'engrais que l'épinette noire dans les peuplements mélangés.

4. Dans la section Forêt mixte de l'Alberta, les peuplements d'épinette blanche ont accusé une croissance substantiellement améliorée par l'addition d'azote à la dose maximale. Mais dans les provinces Maritimes, aucune réaction n'a été observée. Dans une section, une grave infestation de la tordeuse a entravé l'expérience.

5. Les peuplements d'épinette rouge de Nouvelle-Écosse, caractérisés par un fort volume et une mortalité excessive des tiges, ont montré des augmentations de croissance significatives à la suite des traitements 2N et 2N + PK dans une des trois sections forestières.

6. Les peuplements de sapin baumier ont réagi d'une façon significative à l'azote (N) et aux traitements combinés à N, P et K dans 2 des 7 sections forestières et dans 2 des 13 dispositifs. Les gains en volume total variaient de 10,3 à 17,6 m^3/ha, ce qui correspondait à des accroissements relatifs de l'AQ de 30 à 51 %.

7. Le peuplier faux-tremble, traité dans un seul dispositif situé dans la section Forêt mixte en Saskatchewan, s'est avéré l'essence la plus sensible à l'apport d'éléments. L'accroissement périodique quinquennal y a été augmenté de 37,3 m^3/ha, soit 111 %, avec le traitement 2N + PK.

8. Dans 60 des 81 dispositifs, la croissance observée pour chacun des traitements de fertilisation a été supérieure à celle des placettes témoins. Le peu de réaction significative sur le plan statistique ($P \leq 0,05$ pour le test de F, $P \leq 0,10$ pour le test de Scheffe) laisse supposer que les effets de la fertilisation ont été atténués par de fortes variations entre les traitements à cause de volumes inégaux, de la défoliation par les insectes et de la mortalité des tiges dans plusieurs peuplements.

9. Dans 18 des 23 dispositifs où les traitements ont eu des effets significatifs, les plus fortes vitesses de croissance ont été obtenues avec la combinaison de traitements à N, P, K ou N, K. Dans sept autres installations, la croissance a été améliorée de façon significative par les traitements combinés seulement. Cependant, dans tous les cas, les traitements azotés ou combinés ne différaient pas entre eux de façon significative. Cette absence de signification statistique devrait être considérée comme une preuve définitive de la présence de P et K en quantités suffisantes dans le sol pour la croissance des arbres; mais, ceci devrait être une indication de la nécessité de pousser plus loin les expériences.

10. L'efficacité de la fertilisation, mesurée par la quantité d'azote requise pour produire une unité de volume de bois, semble similaire dans les forêts couvertes par le programme interprovincial et celles de la Scandinavie, mais dans les forêts de Douglas taxifolié de la région nord-ouest du Pacifique la fertilisation semble être plus efficace que dans l'est du Canada.

11. L'indice de station et les variables du site telles que le drainage, la texture, la roche-mère et la végétation au sol n'ont pas permis d'expliquer la réaction à la fertilisation. Les tentatives pour relier cette réaction à des variables du peuplement comme l'âge, la surface terrière initiale et le volume total initial ont connu un succès limité. Toutefois, les teneurs foliaires en macro-éléments les plus souvent analysés intervenaient pour 80 % dans la réaction du pin gris à l'application d'azote à la dose maximale (2N).

Pour prédire la réaction de façon efficace, il faudra procéder à des essais supplémentaires sur le terrain et à des études approfondies sur la disponibilité des éléments et les interactions entre les engrais dans le milieu forestier.

12. Des analyses économiques ont montré que la fertilisation peut être financièrement intéressante dans les régions où l'approvisionnement en bois est couramment limité. Toutefois, la décision de fertiliser les forêts sera souvent motivée par l'absence de certaines classes d'âge d'essences commerciales importantes reliée à des possibilités réalisables décroissantes. Ces analyses ont permis d'énumérer les contraintes d'aménagement liées à l'utilisation des engrais pour accroître rapidement la croissance des forêts du Canada et de suggérer les mesures à prendre pour les mettre en valeur.

Tableaux

Tableau 1. Sommaire des dispositifs établis par province, année et essence

	Nouvelle-Écosse	Nouveau-Brunswick	Québec	Ontario	Manitoba	Saskatchewan	Alberta	Total
	Nombre d'installations							
1968/69	0	2	0	0	0	0	0	2
1969/70	3	0	8	5	8	2	2	28
1970/71	2	0	14	7	0	0	0	23
1971/72	0	0	10	6	0	1	0	17
1972/73	0	0	8	0	0	2	1	11
Total	5	2	40	18	8	5	3	81
Pin gris	0	0	12	14	2	1	0	29
Épinette noire	0	0	12	4	4	1	0	21
Pin gris/ épinette noire	0	0	3	0	2	2	0	7
Épinette blanche	1	2	0	0	0	0	3	6
Épinette rouge	3	0	0	0	0	0	0	3
Sapin baumier	1	0	13	0	0	0	0	14
Peuplier faux-tremble	0	0	0	0	0	1	0	1
Total	5	2	40	18	8	5	3	81

Tableau 2. Sections forestières, âge, indice de station et concentrations d'éléments dans le feuillage des peuplements de pin gris étudiés

Dispositif	Section forestière*	Âge	Indice** de station	Concentration foliaire				
				N	P	K	Ca	Mg
				%				
Épinette blanche								
Qué. 10	B.7 Missinaibi–Cabonga	46	18,3	1,06	0,11	0,38	0,07	0,10
Qué. 11	B.7 Missinaibi–Cabonga	44	19,8	1,17	0,12	0,42	0,08	0,09
Qué. 18	B.4 Argiles du Nord	54	13,1	1,08	0,11	0,37	0,14	0,09
Qué. 19	B.4 Argiles du Nord	48	14,3	1,11	0,11	0,34	0,08	0,08
Qué. 20	B.4 Argiles du Nord	46	17,1	1,16	0,11	0,44	0,07	0,08
Qué. 23	L.4b Algonquin–Pontiac	38	16,8	1,13	0,09	0,39	0,19	0,09
Qué. 26	B.7 Missinaibi–Cabonga	42	15,8	1,03	0,09	0,38	0,24	0,09
Qué. 31	B.1a Laurentides–Onatchiway	54	16,5	1,01	0,09	0,37	0,18	0,08
Qué. 33	L.7 Saguenay	38	16,5	1,13	0,09	0,26	0,25	0,07
Qué. 38	B.4b Laurentides–Onatchiway	45	13,7	1,02	0,09	0,38	0,22	0,08
Qué. 39	B.4b Laurentides–Onatchiway	45	13,7	1,13	0,10	0,38	0,22	0,08
Qué. 40	B.7 Missinaibi–Cabonga	40	12,8	1,18	0,12	0,36	0,24	0,09
Ont. 3	B.7 Missinaibi–Cabonga	55	14,6	1,01	0,11	0,34	non	
Ont. 4	B.7 Missinaibi–Cabonga	48	17,8	1,05	0,11	0,32	disponible	
Ont. 5	B.7 Missinaibi–Cabonga	45	18,3	1,10	0,11	0,34		
Ont. 6	B.7 Missinaibi–Cabonga	40	15,8					
Ont. 7	B.7 Missinaibi–Cabonga	31	15,2					
Ont. 8	B.7 Missinaibi–Cabonga	28	16,8					
Ont. 9	B.7 Missinaibi–Cabonga	21	18,0					
Ont. 10	B.7 Missinaibi–Cabonga	21	18,0					
Ont. 13	B.11 Haut de la riv. des Anglais	49	16,5					
Ont. 14	B.11 Haut de la riv. des Anglais	49	16,5		non disponible			
Ont. 15	B.11 Haut de la riv. des Anglais	56	14,0					
Ont. 16	B.11 Haut de la riv. des Anglais	56	14,3					
Ont. 17	B.11 Haut de la riv. des Anglais	33	14,3					
Ont. 18	B.11 Haut de la riv. des Anglais	36	12,8					
Man. 1	B.18a Forêt mixte	62	12,5					
Man. 2	B.18a Forêt mixte	70	12,5					
Sask. 2	B.18a Forêt mixte	73	13,7					

* Selon Rowe (1972).
** Hauteur en mètres à 50 ans.

*Tableau 3. Volume total initial (VT) et accroissement quinquennal dans les peuplements de pin gris témoins et ceux fertilisés des sections forestières Algonquin–Pontiac, Saguenay, Laurentides–Onatchiway et Argiles du Nord**

Dispositif	VT initial	Accroissement quinquennal en volume total					
		T	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha**					
Algonquin–Pontiac							
Québec 23†	118	26,6[a]	30,3[ab]	31,7[ab]	35,4[b]	33,8[b]	35,3[b]
Saguenay							
Québec 33	103	13,9[a]	15,3[a]	17,3[a]	17,0[a]	20,6[a]	21,3[a]
Laurentides–Onatchiway							
Québec 31	228	23,5	25,1	28,6	32,2	31,1	28,1
Québec 38	100	10,2	12,0	16,7	15,7	19,4	19,2
Québec 39	73	11,7	14,6	17,5	21,8	19,5	19,9
Moyenne†	134	15,1[a]	17,2[a]	20,9[ab]	23,2[b]	23,3[b]	22,4[ab]
Argiles du Nord							
Québec 18	124	19,4	26,5	29,1	29,1	28,3	29,9
Québec 19	150	18,1	21,7	24,9	25,7	26,9	24,1
Québec 20	209	23,8	29,7	29,0	26,2	30,1	27,1
Moyenne†	161	20,4[a]	26,0[ab]	27,7[b]	27,0[b]	28,4[b]	27,0[b]

* Données fournies par J.-M. Veilleux et G. Sheedy, ministère de l'Énergie et des Ressources.
** Les facteurs de conversion aux mesures du système impérial sont présentés à l'annexe V.
† Les moyennes affichant la même lettre en exposant ne diffèrent pas de façon significative.

*Tableau 4. Volume total initial (VT) et accroissement quinquennal dans les peuplements de pin gris témoins et ceux fertilisés de la section forestière Missinaibi–Cabonga**

Dispositif	VT initial	Accroissement quinquennal en volume total					
		T	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha**					
Québec 10	207	25,4	34,8	43,2	43,6	39,1	35,3
Québec 11	237	29,6	35,5	35,5	38,8	52,9	41,1
Québec 26	123	15,2	18,7	20,4	24,3	23,3	22,9
Québec 40	193	27,1	32,9	37,7	35,7	41,7	39,2
Ontario 3	163	17,5	25,9	25,8	27,8	26,3	25,5
Ontario 4	212	18,3	25,4	25,1	23,2	30,7	26,6
Ontario 5	246	21,8	32,2	26,0	28,7	29,6	28,4
Ontario 6	181	22,7	38,6	34,9	39,2	41,6	40,7
Ontario 7	161	26,9	32,1	39,6	40,5	43,8	43,7
Ontario 8	147	36,6	35,8	42,3	48,6	50,3	48,3
Ontario 9	106	28,0	33,3	38,8	42,8	41,1	38,9
Ontario 10	108	37,6	37,8	50,5	42,5	42,0	45,4
Moyenne†	174	25,6[a]	31,9[ab]	35,0[b]	36,3[b]	38,5[b]	36,3[b]

* Québec: Données fournies par J.-M. Veilleux et G. Sheedy, ministère de l'Énergie et des Ressources.
Ontario: Données fournies par J.D. Scott, ministère des Ressources naturelles.

** Les facteurs de conversion aux mesures du système impérial sont présentés à l'annexe V.

† Les moyennes affichant la même lettre en exposant ne diffèrent pas de façon significative.

*Tableau 5. Volume total initial (VT) et accroissement quinquennal dans les peuplements de pin gris témoins et ceux fertilisés des sections forestières Haut de la rivière des Anglais et Forêt mixte**

Dispositif	VT initial	Accroissement quinquennal en volume total					
		T	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha**					
Haut de la rivière des Anglais							
Ontario 13	242	26,6	38,0	44,4	25,7	42,8	35,9
Ontario 14	246	22,5	30,7	33,5	35,0	43,4	38,2
Ontario 15	224	25,3	31,0	33,9	24,3	37,8	33,3
Ontario 16	190	25,7	29,9	26,6	32,0	33,9	32,3
Ontario 17	144	23,5	27,0	31,2	28,3	33,9	28,7
Ontario 18	131	18,0	30,1	37,1	36,2	32,7	37,9
Moyenne†	196	23,6[a]	31,1[b]	34,4[bc]	30,2[b]	37,4[c]	34,4[bc]
Forêt mixte							
Manitoba 1	235	23,4	28,4	29,1	24,7	31,2	24,7
Manitoba 2	202	18,5	21,7	29,6	24,7	22,2	27,3
Saskatchewan 2	233	15,8	17,6	18,9	20,8	21,1	24,6[a]
Moyenne†	223	19,2[a]	22,6[a]	25,9[a]	23,4[a]	24,8[a]	24,6[a]

* Ontario: Données fournies par J.D. Scott, ministère des Ressources naturelles.
Manitoba: Données fournies par G. McColm, ministère des Ressources renouvelables et des Services de transport.

** Les facteurs de conversion aux mesures du système impérial sont présentés à l'annexe V.

† Les moyennes affichant la même lettre en exposant ne diffèrent pas de façon significative.

Tableau 6. Sections forestières, âge, indice de qualité de station et concentrations d'éléments dans le feuillage des peuplements d'épinette noire et des peuplements mélangés de pin gris et d'épinette noire (Dans les peuplements mélangés, les concentrations indiquées sont celles de l'épinette noire)

Dispositif	Section forestière*	Âge	Indice** de station	Concentration foliaire				
				N	P	K	Ca	Mg
				%				
Épinette noire								
Qué. 8	B.7 Missinaibi–Cabonga	41	15,8	1,08	0,16	0,54	0,27	0,13
Qué. 13	B.4 Argiles du Nord	57	12,8	1,04	0,17	0,61	0,28	0,11
Qué. 14	B.4 Argiles du Nord	55	11,0	0,96	0,13	0,54	0,27	0,11
Qué. 17	B.4 Argiles du Nord	55	12,8	0,98	0,15	0,45	0,29	0,12
Qué. 21	B.4 Argiles du Nord	58	10,4	0,99	0,10	0,42	0,25	0,09
Qué. 22	B.7 Missinaibi–Cabonga	45	13,4	1,07	0,13	0,49	0,47	0,14
Qué. 25	B.7 Missinaibi–Cabonga	44	12,2	0,98	0,14	0,41	0,35	0,12
Qué. 28	B.1a Laurentides–Onatchiway	72	10,7	0,99	0,12	0,50	0,28	0,10
Qué. 30	B.1a Laurentides–Onatchiway	80	9,4	1,02	0,10	0,46	0,26	0,10
Qué. 35	B.1a Laurentides–Onatchiway	47	7,6	0,96	0,10	0,35	0,41	0,10
Qué. 36	B.1a Laurentides–Onatchiway	54	12,2	0,89	0,11	0,45	0,44	0,10
Qué. 37	B.1a Laurentides–Onatchiway	65	13,4	0,91	0,12	0,49	0,39	0,11
Ont. 1	B.4 Argiles du Nord	51	14,6	0,85	0,13	0,50	non	
Ont. 2	B.4 Argiles du Nord	56	14,6	0,80	0,12	0,51	disponible	
Ont. 11	B.4 Argiles du Nord	75	10,1					
Ont. 12	B.4 Argiles du Nord	70	10,7					
Man. 5	B.18a Forêt mixte	68	13,7					
Man. 6	B.18a Forêt mixte	65	11,3		non disponible			
Man. 7	B.18a Forêt mixte	80	10,1					
Man. 8	B.18a Forêt mixte	57	10,4					
Sask. 3	B.18a Forêt mixte	80	10,7					
Pin gris–épinette noire								
Qué. 15	B.4 Argiles du Nord	56	12,8	1,02	0,18	0,64	0,26	0,12
Qué. 24	B.7 Missinaibi–Cabonga	40	18,3	1,08	0,09	0,36	0,22	0,08
Qué. 32	B.1a Laurentides–Onatchiway	47	15,2	1,10	0,11	0,47	0,36	0,11
Man. 3	B.18a Forêt mixte	62	11,6					
Man. 4	B.18a Forêt mixte	62	12,2					
Sask. 1	B.18a Forêt mixte	85	9,1		non disponible			
Sask. 5	B.18a Forêt mixte	85	9,1					

* Selon Rowe (1972).
** Hauteur en mètres à 50 ans.

*Tableau 7. Volume total initial (VT) et accroissement quinquennal dans les peuplements d'épinette noire témoins et ceux fertilisés des sections Laurentides–Onatchiway et Argiles du Nord**

Dispositif	VT initial	Accroissement quinquennal en volume total					
		T	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha**					
Laurentides–Onatchiway							
Québec 28	219	23,2	23,8	27,3	22,6	23,8	26,3
Québec 30	161	16,1	22,1	20,5	21,3	23,7	18,0
Québec 35	145	20,0	25,4	22,8	28,4	24,6	29,5
Québec 36	123	13,3	22,6	23,4	22,9	15,8	23,9
Québec 37	281	20,9	20,8	24,1	25,2	26,1	21,4
Moyenne†	187	18,7[a]	22,9[b]	23,6[b]	24,1[b]	22,8[b]	23,8[b]
Argiles du Nord							
Québec 13	232	21,1	28,6	26,5	30,5	27,7	24,6
Québec 14	142	21,8	25,0	25,4	22,4	22,3	22,5
Québec 17	90	14,8	17,3	18,8	17,7	17,7	15,4
Québec 21	109	23,9	26,2	28,4	30,7	22,2	28,1
Ontario 1	229	31,5	28,2	23,7	30,9	30,1	22,2
Ontario 2	272	37,3	35,8	33,7	38,8	29,7	33,9
Ontario 11	284	24,8	20,2	22,4	16,8	29,4	27,2
Ontario 12	543	30,3	36,0	33,4	31,6	27,8	33,9
Moyenne†	238	25,7[a]	27,2[a]	26,5[a]	27,4[a]	25,9[a]	26,0[a]

* Québec: Données fournies par J.-M. Veilleux et G. Sheedy, ministère de l'Énergie et des Ressources.
Ontario: Données fournies par J.D. Scott, ministère des Ressources naturelles.

** Les facteurs de conversion aux mesures du système impérial sont présentés à l'annexe V.

† Les moyennes affichant la même lettre en exposant ne diffèrent pas de façon significative.

*Tableau 8. Volume total initial (VT) et accroissement quinquennal dans les peuplements d'épinette noire témoins et ceux fertilisés des sections Missinaibi–Cabonga et Forêt mixte**

Dispositif	VT initial	Accroissement quinquennal en volume total					
		T	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha**					
Missinaibi–Cabonga							
Québec 8	207	19,9	24,4	23,3	25,3	16,9	26,4
Québec 22	116	12,8	14,8	12,0	15,4	13,4	13,8
Québec 25	111	18,0	22,6	19,3	25,7	22,7	21,2
Moyenne†	145	16,9[a]	20,6[b]	18,2[b]	22,1[b]	17,7[ab]	20,5[b]
Forêt mixte							
Manitoba 5	205	22,3	25,9	25,1	26,5	22,8	26,2
Manitoba 6	308	21,6	25,4	23,8	23,9	25,2	24,5
Manitoba 7	202	25,3	27,1	30,4	27,0	25,3	27,7
Manitoba 8	359	26,2	23,3	22,4	25,8	26,5	28,6
Saskatchewan 3	300	27,9	32,4	33,6	36,6	32,5	36,2
Moyenne†	261	24,7[a]	26,8[a]	27,0[a]	28,0[a]	26,5[a]	28,7[a]

* Québec: Données fournies par J.-M. Veilleux et G. Sheedy, ministère de l'Énergie et des Ressources.
Manitoba: Données fournies par G. McColm, ministère des Ressources renouvelables et des Services de transport.
Saskatchewan: Données fournies par J. Soos, Service canadien des forêts, Centre de recherches forestières du Nord.

** Les facteurs de conversion aux mesures du système impérial sont présentés à l'annexe V.

† Les moyennes affichant la même lettre en exposant ne diffèrent pas de façon significative.

*Tableau 9. Volume total initial et accroissement quinquennal dans les peuplements mélangés de pin gris et d'épinette noire**

Dispositif	VT initial	Accroissement quinquennal en volume total					
		T	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m³/ha**					
Laurentides–Onatchiway							
Québec 32†	126	20,3[a]	24,1[a]	24,2[a]	29,6[a]	28,7[a]	27,8[a]
Argiles du Nord							
Québec 15	228	26,6[a]	35,3[a]	36,5[a]	32,8[a]	35,0[a]	32,4[a]
Missinaibi–Cabonga							
Québec 24	153	29,3[a]	35,5[a]	35,9[a]	36,9[a]	39,7[a]	39,0[a]
Forêt mixte							
Manitoba 3	156	12,7	18,5	19,2	24,6	24,1	24,7
Manitoba 4	218	17,5	26,5	24,0	27,4	26,1	24,1
Saskatchewan 1	199	20,7	23,9	33,1	38,1	38,8	39,6
Saskatchewan 5	214	18,7	24,0	40,8	31,2	32,8	34,5
Moyenne†	197	17,4[a]	23,2[ab]	29,3[bc]	27,8[bc]	30,5[c]	30,7[c]

* Québec: Données fournies par J.-M. Veilleux et G. Sheedy, ministère de l'Énergie et des Ressources.
Manitoba: Données fournies par G. McColm, ministère des Ressources renouvelables et des Services de transport.
Saskatchewan: Données fournies par J. Soos, Service canadien des forêts, Centre de recherches forestières du Nord.

** Les facteurs de conversion aux mesures du système impérial sont présentés à l'annexe V.

† Les moyennes affichant la même lettre en exposant ne diffèrent pas de façon significative.

Tableau 10. Accroissements relatifs en volume total (période de cinq ans) selon les essences et les traitements dans les peuplements mélangés de pin gris et d'épinette noire. Moyennes de deux dispositifs (Manitoba 3 et Saskatchewan 1) avec réactions significatives aux traitements

Traitement	Accroissement (% par rapport au volume total initial)			
	Total		Par rapport au témoin	
	Épn	Pig	Épn	Pig
Témoin	10,8	8,9	—	—
N	13,3	12,6	2,5	3,7
2N	13,6	19,6	2,8	10,7
2N + P	19,3	20,3	8,5	11,4
2N + K	20,8	20,7	10,0	11,8
2N + PK	17,7	18,9	6,9	10,0

Tableau 11. Sections forestières, âge, indice de qualité de station et concentrations d'éléments dans le feuillage des peuplements d'épinette blanche, d'épinette rouge, de sapin baumier et de peuplier faux-tremble

Dispositif	Section forestière*	Âge	Indice** de station	Concentration foliaire				
				N	P	K	Ca	Mg
				%				
Épinette blanche								
Nouvelle-Écosse 2	A.7 Cap-Breton–Antigonish	35	17,4	non disponible				
Nouveau-Brunswick 1	A.9 Côte de Fundy	45	15,2	1,31	0,20	0,71	0,42	0,16
Nouveau-Brunswick 2	A.9 Côte de Fundy	45	15,2	1,22	0,19	0,65	0,38	0,11
Alberta 1	B.18a Forêt mixte	90	16,8	1,01	0,16	0,59	0,89	0,11
Alberta 2	B.18a Forêt mixte	50	14,6	0,89	0,16	0,56	0,90	0,15
Alberta 3	B.18a Forêt mixte	84	15,2	non disponible				
Épinette rouge								
Nouvelle-Écosse 1	A.12 Basses terres centrales	55	14,3					
Nouvelle-Écosse 4	A.9 Côte de Fundy	50	13,4	non disponible				
Nouvelle-Écosse 5	A.11 Hautes terres atlantiques	62	12,5					
Sapin baumier								
Nouvelle-Écosse 3	A.6 Plateau du Cap-Breton	50	12,8					
Québec 1	B.2 Gaspé	50	13,7	1,26	0,18	0,62	0,46	0,13
Québec 2	B.2 Gaspé	45	13,7	1,18	0,19	0,62	0,45	0,12
Québec 3	B.2 Gaspé	59	10,7	1,15	0,19	0,64	0,42	0,13
Québec 4	B.2 Gaspé	61	10,7	1,19	0,20	0,64	0,38	0,13
Québec 5	B.2 Gaspé	59	10,7	1,13	0,17	0,57	0,44	0,12
Québec 6	B.2 Gaspé	62	10,7	1,21	0,18	0,65	0,49	0,15
Québec 7	L.6 Témiscouata–Restigouche	56	12,2	1,19	0,17	0,59	0,34	0,12
Québec 9	B.7 Missinaibi–Cabonga	46	15,2	1,56	0,14	0,48	0,45	0,14
Québec 12	Timagami	50	12,8	1,51	0,19	0,67	0,55	0,18
Québec 16	B.4 Argiles du Nord	59	12,2	1,28	0,16	0,48	0,53	0,14
Québec 27	B.1a Laurentides–Onatchiway	47	15,8	1,34	0,12	0,42	0,47	0,10
Québec 29	B.1a Laurentides–Onatchiway	46	14,9	1,44	0,14	0,52	0,50	0,12
Québec 34	B.1a Laurentides–Onatchiway	51	15,8	1,15	0,12	0,53	0,56	0,11

* Selon Rowe (1972).
** Hauteur en mètres à 50 ans.

*Tableau 12. Volume total initial (VT) et accroissement quinquennal de l'épinette blanche et de l'épinette rouge avec et sans traitements de fertilisation**

Dispositif	VT initial	Accroissement quinquennal en volume total					
		T	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha**					
Épinette blanche							
Cap-Breton–Antigonish							
Nouvelle-Écosse 2†	246	47,4[a]	39,0[a]	45,5[a]	52,3[a]	42,2[a]	45,4[a]
Côte de Fundy							
Nouveau-Brunswick 1	209	13,0	14,3	15,4	17,0	17,1	12,6
Nouveau-Brunswick 2	171	15,0	16,0	15,2	17,8	16,5	15,9
Moyenne	190	14,0[a]	15,2[a]	15,3[a]	17,4[a]	16,8[a]	14,3[a]
Forêt mixte							
Alberta 1	410	33,4	44,7	47,9	38,0	37,9	35,7
Alberta 2	291	36,7	40,5	43,8	38,0	42,7	34,7
Alberta 3	211	34,5	39,9	49,2	48,7	46,5	50,7
Moyenne	304	34,9[a]	41,7[a]	47,0[b]	41,6[a]	42,4[a]	40,4[a]
Épinette rouge							
Basses terres centrales							
Nouvelle-Écosse 1	292	28,0[a]	39,2[a]	38,9[a]	27,1[a]	36,0[a]	34,6[a]
Côte de Fundy							
Nouvelle-Écosse 4	297	12,6[a]	17,2[ab]	18,7[b]	14,0[a]	16,8[ab]	19,6[b]
Hautes terres atlantiques							
Nouvelle-Écosse 5	202	28,6[a]	29,8[a]	26,7[a]	26,5[a]	30,5[a]	30,1[a]

* Nouvelle-Écosse: Données fournies par V. Timmer, Service canadien des forêts, Centre de recherches forestières des Maritimes.
Nouveau-Brunswick: Données fournies par S.J. Hoyt, ministère des Ressources naturelles.
Alberta: Données fournies par E. Ritcey, ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles.

** Les facteurs de conversion aux mesures du système impérial sont présentés à l'annexe V.

† Les moyennes affichant la même lettre en exposant ne diffèrent pas de façon significative.

Tableau 13. Volume total initial (VT) et accroissement quinquennal dans les peuplements de sapin baumier et de peuplier faux-tremble avec et sans traitements de fertilisation

Dispositif	VT initial	Accroissement quinquennal en volume total					
		T	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m³/ha**					
Sapin baumier							
Plateau du Cap-Breton							
Nouvelle-Écosse 3†	228	25,0[a]	21,9[a]	27,1[a]	31,1[a]	31,8[a]	26,5[a]
Gaspé							
Québec 1	310	31,6	37,9	39,6	47,3	47,1	43,8
Québec 2	259	30,9	33,7	34,0	32,6	41,4	38,8
Québec 3	235	32,0	37,4	39,6	36,5	38,3	37,5
Québec 4	276	26,0	29,0	36,8	33,5	34,3	29,4
Québec 5	237	34,8	45,4	45,1	52,4	43,4	51,0
Québec 6	243	32,1	46,9	47,6	40,6	41,5	46,6
Moyenne†	260	31,2[a]	38,4[ab]	40,5[b]	40,5[b]	41,0[b]	41,2[b]
Témiscouata–Restigouche							
Québec 7	261	32,6[a]	30,4[a]	28,8[a]	34,7[a]	34,8[a]	31,5[a]
Laurentides–Onatchiway							
Québec 27	276	31,5	37,7	40,2	32,2	36,3	31,4
Québec 29	239	31,5	35,4	37,7	40,4	40,1	40,2
Moyenne†	258	31,5[a]	33,5[a]	38,7[b]	36,3[a]	38,2[b]	35,8[ab]
Argiles du Nord							
Québec 16	144	21,1[a]	29,4[a]	36,8[a]	32,7[a]	38,8[a]	34,2[a]
Missinaibi–Cabonga							
Québec 9	178	26,8[a]	27,4[a]	28,2[a]	27,6[a]	32,5[a]	33,1[a]
Timagami							
Québec 12	145	18,5	18,8[a]	26,9[a]	28,8[a]	26,9[a]	24,1[a]
Peuplier faux-tremble							
Saskatchewan 4	145	33,5[a]	35,6[a]	49,3[ab]	50,1[ab]	59,4[b]	70,8[b]

* Nouvelle-Écosse: Données fournies par V. Timmer, Service canadien des forêts, Centre de recherches forestières des Maritimes.
Québec: Données fournies par J.-M. Veilleux et G. Sheedy, ministrère de l'Énergie et Ressources.

** Les facteurs de conversion aux mesures du système impérial sont présentés à l'annexe V.

† Les moyennes affichant la même lettre en exposant ne diffèrent pas de façon significative.

Tableau 14. Taux de mortalité et recrutement des arbres de petits diamètres en fraction du volume marchand, pour les cinq années consécutives aux traitements

Essence	Mortalité						Recrutement					
	T	N	2N	2N+P	2N+K	2N+PK	T	N	2N	2N+P	2N+K	2N+PK
	m^3/ha*						m^3/ha*					
Pin gris	8,9	8,5	8,3	8,5	8,4	10,4	3,1	3,6	3,7	4,5	3,9	4,0
Épinette noire	11,9	18,7	15,1	21,3	17,9	16,8	2,6	2,7	2,1	2,7	2,4	2,6
Pin gris/ Épinette noire	5,2	6,7	10,7	10,6	5,6	8,7	2,4	2,9	2,8	3,3	3,0	3,4
Épinette blanche	29,5	28,2	25,1	24,1	26,1	23,1	1,2	1,5	1,9	2,1	0,5	0,6
Épinette rouge	7,2	10,3	26,9	27,0	9,2	23,0	0,0	0,5	0,8	0,4	0,9	0,6
Sapin baumier	17,5	15,0	13,4	13,6	17,6	19,2	3,6	3,7	3,9	3,1	4,0	4,4
Peuplier faux-tremble	9,2	7,4	9,7	5,8	6,4	15,2	4,5	2,5	10,4	11,8	5,1	6,3

* Les facteurs de conversion aux mesures du système impérial sont présentés à l'annexe V.

Références bibliographiques

Armson, K.A. 1972. *Fertilizer distribution and sampling techniques in the aerial fertilization of forests.* Univ. Toronto, Fac. Forestry Tech. Rep. No. 11, 28 p.

Armson, K.A., Krause H.H. & Weetman, G.F. 1975. *Fertilization response in the northern coniferous forest.* Dans: "Forest Soils and Forest Land Management", p. 449-466. (Proceedings of the Fourth North American Forest Soils Conference, Laval University, Québec, Aug. 1973). Éd. par Bernier, B. et C.H. Winget, Les Presses de l'Université Laval, Québec.

Bengtson, G.W. 1976. *Fertilizers in use and under evaluation in silviculture: A status report.* XVI IUFRO World Congr. Proc.

Bernier, B., Brazeau, M. & Winget, C.H. 1972. Gaseous loss of ammonia following urea application in a balsam fir forest. *J. can. rech. for.* 2:79-82.

Brantseg, A. 1967. Skogsgodsling pa fastmark. Skogsgodsl. Nya Vetenskalp. *Ron* 9:3-22.

Brazeau, M. 1979. *Incidence de la fertilisation sur la nutrition et la croissance du sapin baumier (Abies balsamea* [L.] *Mill.) en forêt naturelle.* Thèse de doctorat, Univ. Laval, Cité Universitaire, Québec.

Camire, C. 1980. *Fertilisation azotée en forêt de pin gris* (Pinus banksiana *Lamb.*). Thèse de doctorat, Univ. Laval. Québec.

Carrier, D. & Bernier, B. 1971. Pertes d'azote par volatilisation ammoniacale après fertilisation en forêt de pin gris. *J. can. rech. for.* 1:69-79.

Evert, F. 1976. Back to the basics. *For. Chron.* 52:171.

Foster, N.W. 1979. *The importance of chemical reactions and microbial activity in immobilizing urea nitrogen in jack pine humus.* Ph. D. Thesis, University of Guelph, Guelph, Ont.

Foster, N.W. & Morrison, I.K. 1976. Distribution and cycling of nutrients in a natural *Pinus banksiana* ecosystem. *Ecology* 57:110-120.

Gagnon, J.D., Roberge, M., Truong dinh Phu & Swan, H.S.D. 1979. *Effets de la fertilisation, après 10 ans, sur la croissance et le milieu d'une sapinière naturelle de 60 ans au nord-est du Québec.* Serv. can. forêts, Centre rech. for. Laurentides, Ste-Foy, (Qué.) Rapp. d'inf. LAU-X-36.

Glew, D.R. 1974. *Productivity – the key to forest management.* Dans: "Intensive Forestry: A case for optimism". Proceedings of the 65th Western Forestry Conference, Spokane, Wa. 5-6 December, 1974.

Harrington, C.A. & Miller, R.E. 1979. *Response of a 100 year-old Douglas-fir stand to urea and ammonium nitrate fertilization.* Pac. Northwest For. Rang. Exp. Stn. Research Note 336.

Honer, T.G. 1967. *Standard volume tables and merchantable conversion factors for the commercial tree species of central and eastern Canada.* Can. Dep. For. and Rural Dev., For. Branch., Inf. Rep. FMR-X-5.

Hoyt, J.S. 1973. *Growth increases after fertilization in mature jack pine and balsam fir stands.* New Brunswick Dep. Natural Resources. For. Branch. 81 p.

Jonsson, S. 1977. Results from the 10-year-old series of trials with high doses of nitrogen fertilization (En suédois avec résumé anglais.) Förenigen Skogsträdsförädling och institutet för Skogsförbättring. *Årsbok* 1977, p. 79-128.

Jonsson, S. & Moller, G. 1976. Fertilization and thinning effects in overstocked pine stands. (En suédois avec résumé anglais.) Föreningen Skogsträdsförädling och institutet för Skogsförbättring, *Årsbok* 1976, p. 62-116.

Krause, H.H. 1981. *Factorial experiments with nitrogen, phosphorus, and potassium in spruce and fir stands of New Brunswick: 10-year results.* Can. For. Serv., Maritime For. Res. Cent., Inf. Rep. M-X-123, 27 p.

Krause, H.H., Weetman, G.F. & Arp, P.A. 1978. *Nutrient cycling in boreal forest ecosystems.* Dans "Forest Soils and Land Use, p. 287-319". (Proceedings of the Fifth North American Forest Soils Conference, Colorado State University, Ft. Collins, Colorado, Aug. 1978). Ed. by C.T. Youngberg. Colorado State University.

Leech, R.H. 1969. *Response of a jack pine plantation to urea and potash fertilizers.* Ont. Dep. Lands and Forests Res. Rep. No. 88, 44 p.

Mahendrappa, M.K. & Ogden, E.D. 1973. Patterns of ammonia volatization from a forest soil. *Plant and Soil* 38:257-265.

Mahendrappa, M.K. 1978. Changes in the organic layers under a black spruce stand fertilized with urea and triple super-phosphate. *J. can. rech. for.* 8:237-242.

Malm, D. & Moller G. 1974. *Differences in volume growth increase after fertilization with urea and ammonium nitrate fertilizer* (En suédois avec résumé anglais.) Föreningen Skogsträdsförädling och institutet för Skogsförbättring. *Årsbok*, 1974, p. 75-97.

Morrison, I.K. & Foster, N.W. 1977. Fate of urea fertilizer added to a boreal forest (*Pinus banksiana* Lamb.) stand. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41:441-448.

Morrison, I.K. & Foster, N.W. 1979. *Five-year growth in two nitrogen-phosphorus fertilization experiments in spruce and spruce-fir upland forest in northern Ontario.* Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent. Inf. Rep. 0-X-299. 15 p.

Morrison, I.K., Hegyi, F., Foster, N.W., Winston, D.A. & Tucker, T.L. 1976*a*. *Fertilizing semimature jack pine (Pinus banksiana Lamb.) in northwestern Ontario: Fourth year results.* Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent. Rep. 0-X-240.

Morrison, I.K., Winston, D.A. & Foster, N.W. 1976*b*. *Urea dosage trial in semimature jack pine forest, Chapleau, Ontario: Fifth-year results.* Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., Inf. Rep. 0-X-251. 8 p.

Morrison, I.K., Winston, D.A. & Foster, N.W. 1977*a*. *Effect of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers on growth of semimature jack pine forest, Chapleau, Ontario: Fifth-year results.* Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., Inf. Rep. 0-X-258. 12 p.

Morrison, I.K., Winston, D.A. & Foster, N.W. 1977*b*. *Effect of nitrogen and low thinning on growth of semimature jack pine forest, Chapleau, Ontario: Fifth-year results.* Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., Inf. Rep. 0-X-267. 10 p.

Nadeau, J.P. 1977. *La fertilisation aérienne des forêts, un investissement rentable. Expérience avec le pin gris en Mauricie, Québec.* Ministère des Terres et Forêts du Québec. Serv. rech., mémoire n° 35.

Overrein, L.N. 1970. Tracer studies on nitrogen immobilization-mineralization relationships in forest raw humus. *Plant and Soil* 21:478-500.

Plonski, W.L. 1974. *Normal yield tables (metric) for major forest species of Ontario.* Ont. Ministry of Natural Resources, Toronto, Ontario.

Reed, F.L.C. 1979. Realizing the economic potential of Canada's forest resource. *For. Chron.* 55:217-221.

Rennie, P.J. 1972. *Forest fertilization in Canada.* Seventh World Forestry Congress, Buenos Aires, 1972.

Rennie, P.J. 1978. *Utilization of soils of the boreal for forest production.* Proceedings 11th Intern. Congress of Soil Science 3:305-331. Edmonton, Alberta.

Roberge, M.R. & Gagnon, J.D. 1974. Étude d'un épandage aérien d'urée en forêt. *J. Can. rech. for.* 4:482-490.

Roberge, M.R. & Knowles, R. 1966. Ureolysis, immobilization, and nitrification in black spruce (*Picea mariana* Mill) humus. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30:201-204.

Rosvall, O. 1979. Prognosfunktioner för beräkning ar godslings-effekter. Förenigen skogsträdsförädling och institutet för Skogsförbättring, *Årsbok* 1979.

Rowe, J.S. 1972. *Les Régions forestières du Canada.* Min. Env., Serv. can. forêts, Publ. 1300F, 172 p.

Scheffe, H. 1959. *The analysis of variance.* John Wiley and Sons, Inc., New York.

Service canadien des forêts, 1973. *Projet interprovincial de fertilisation des forêts naturelles. Rapport d'étape 1969/72.* Env. Can., Publ. n° 1319, 21 p.

Sheedy, G. 1977. *Évaluation des dommages causés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans des dispositifs de fertilisation établis dans des peuplements de sapin et d'épinette.* Ministère des Terres et Forêts du Québec, Serv. rech., Rapp. interne n° 176, 21 p.

Snedecor, G.W. & Cochran, W.G. 1967. *Statistical methods.* The Iowa State University Press, Ames, Iowa.

Swan, H.S.D. 1970. *Relationship between nutrient supply, growth, and nutrient concentrations in the foliage of black spruce and jack pine.* Pulp Pap. Res. Inst. Can., Woodlands Pap. 19. 46 p.

Timmer, V.R. 1979. *Foliar diagnosis of nutrient status and growth response in forest trees.* Ph.D. Thesis, Cornell University, Ithaca, New York.

Timmer, V.R. & Morrow, L.D. 1980. *Preliminary growth response and foliar diagnosis of fertilized jack pine and black spruce plantations in the Lake Nipigon-Beardmore Area.* Fac. Forestry, Univ. Toronto, Mimeo. 23 p.

Timmer, V.R. & Stone, E.L. 1978. Comparative foliar analysis of young balsam fir fertilized with nitrogen, phosphorus, potassium, and lime. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:125-130.

Timmer, V.R., Stone, E.L. & Embree, D.G. 1977. Growth response of young balsam fir fertilized with nitrogen, phosphorus, potassium, and lime. *J. can. rech. for.* 7:441-447.

Tucker, T.L. 1974. *What is it worth? An economic evaluation of fertilizer trials in jack pine at Dryden, Ontario.* Proc. Workshop on Forest Fertilization in Canada, p. 39-45. Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., For. Tech. Rep. No. 5.

Van Nostrand, R.S. 1979. Growth response to black spruce in Newfoundland to N, P, and K fertilization. *For. Chron.* 55:189-193.

Veilleux, J.-M. & Sheedy, G. 1977. *Essai opérationnel de fertilisation aérienne de peuplements de pin gris dans la Mauricie.* Ministère des Terres et Forêts du Québec, Serv. rech. Mémoire n° 41. 137 p.

Vezina, P.E. & Linteau, A. 1968. *Growth and yield of balsam fir and black spruce in Québec.* Can. Min. For. Rural Dev., Forest Res. Lab. Que. Reg., Inf. Rep. 0-X-2.

Viro, P.J. 1972. *Die Walddüngung auf Finnischen Mineralböden.* Folia For. 138. 19 p., Helsinki.

Weetman, G.F. 1968. *The nitrogen fertilization of three black spruce stands. Pulp Pap. Res. Inst. Can., Woodlands Pap. 6.*

Weetman, G.F. 1975. Ten-year growth response of black spruce to thinning and fertilization treatments. J. can. rech. for. 5:302-309.

Weetman, G.F. & Algar, D. 1974. Jack pine nitrogen fertilization and nutrition studies: Three year results. *J. can. rech. for.* 4:381-398.

Weetman, G.F., Krause, H.H. & Koller, E. 1976. *Projet interprovincial de fertilisation des forêts naturelles. Résultats du premier remesurage quinquennal dans trente installations: fertilisées en 1969, remesurées en 1974.* Min. Env., Serv. can. forêts, Rapp. tech. for. 16, 34 p.

Weetman, G.F., Roberge, M. & Meng, C.H. 1980. Black spruce thinning and fertilization: 15-year growth and humus microbiological responses. *J. can. rech. for.* 10:502-509.

Annexes

Annexe I. Couvert forestier et autres caractéristiques des lieux étudiés

Dispositif	Végétation		Classe de pente†	Roche-mère		Classe‡ de drainage	Profondeur d'enracinement cm
	Arbres*	Au sol**		Dépôt	Texture††		
Nouvelle-Écosse 1	Épr 8, Sab 2	Mh9	2	moraine d'ablat.	LSa	2	41
Nouvelle-Écosse 2	Épb 9	Mn2	2	fluvio-glaciaire	SaLi, LSa	1	61
Nouvelle-Écosse 3	Sab 9, Epp 1	Mn9	2	moraine	LLi, Lar	3	33
Nouvelle-Écosse 4	Épr 9	–	1	moraine	Saf et L	2	36
Nouvelle-Écosse 5	Épr 8, Sab 1	Mn9, Ms	1	moraine	SaLi, LSa	2	33
Nouveau-Brunswick 1	Épb 9	Mh7	2	moraine	SaLi, LSa	2	48
Nouveau-Brunswick 2	Épb 9	Mh8	2	moraine	SaLi, LSa	2	48
Québec 1	Sab 8	Mh8, G2	1	moraine	SaLi, LSa	3	33
Québec 2	Sab 5, Épb 1	Mh8, É2	1	moraine d'ablat.	SaLi, LSa	2/3	30
Québec 3	Sab 7, Épb 1	Mh7, H1	3	moraine d'ablat.	SaLi, LSa	2	30
Québec 4	Sab, 6 Épn 1	Mh9	1	moraine d'ablat.	Satf, L	2	30
Québec 5	Sab 7, Épn 1	Mh9	2	moraine	SaLi, LSa	3	30
Québec 6	Sab 8	Mh8	3	moraine	SaLi, LSa	2	46
Québec 7	Sab 7, Épn 1	Mh9	1	fluvio-glaciaire	Saf, SaL	2	30
Québec 8	Épn 6	É3, Mh1	2	fluvio-glaciaire	Sam et f	2	22
Québec 9	Sab 7, Bob 1	H1	2	fluvio-glaciaire	Saf, SaL	2	15
Québec 10	Pig 5, Epn 1	É3, Mh2	1	lacustre	LLi, LAr	4/5	15
Québec 11	Pig 4, Bob 3	É1	3	fluvio-glaciairè	Saf et m	2	20
Québec 12	Sab 4, Épn 2	Mh1, H1	2	fluvio-glaciaire	Saf, SaL	2/3	15
Québec 13	Épn 7, Pig 1	Mh2, MS1	1	lacustre	Li, LAr	4	18
Québec 14	Épn 6	É2, Mh1	2	lacustre	Li, LAr	4	18
Québec 15	Épn 5, Pig 3	Mh1	2	lacustre	LLi, LAr	4/5	23
Québec 16	Sab 4, Bob 3	Mh2, Ms1	1	lacustre	ArLi, Ar	3/4	20
Québec 17	Épn 5	Mh3, É2	2	fluvio-glaciaire	Sam et f	4	25
Québec 18	Pig 5, Épn 1	É2, Cla1	1	fluvio-glaciaire	Sam et f	2	23
Québec 19	Pig 6	É2, Mh1	1	fluvio-glaciaire	Sam et f	2	30
Québec 20	Pig 8	H1, É1	2	fluvio-glaciaire	Saf, SaL	3	20
Québec 21	Épn 6	É2, Ms1	2	tourbe	–	5	30
Québec 22	Épn 6	É3, Mh1	2	fluvio-glaciaire	Sam et f	2	22
Québec 23	Pig 7	É2, Mh1	1	fluvio-glaciaire	Saf et L	2	25
Québec 24	Pig 4, Épn 4	É1, Mh1	2	fluvio-glaciaire	Saf et m	2	25
Québec 25	Épn 6	É3, Mh1	3	fluvio-glaciaire	SaLi, Lsa	2/3	15
Québec 26	Pig 6	É2, Mh1	1	fluvio-glaciaire	Sam et f	1	18
Québec 27	Sab 8	Mh2, H1	3	moraine	Sam et f	3	20
Québec 28	Épn 6, Sab 2	Mh2	3	moraine	Sam et g	3	30
Québec 29	Sab 8	Mh2	3	moraine	LSa et L	3	8
Québec 30	Sab 8	M2, Ms	1	fluvio-glaciaire	Sam et g	4	20
Québec 31	Pig 6	É2, Mh1	1	fluvio-glaciaire	Sam et g	1	20
Québec 32	Pig 4, Épn 5	Mh9, É8	1	fluvio-glaciaire	Sam et f	1	33
Québec 33	Pig 9	Mh9, É8	1	fluvio-glaciaire	Sam et g	1	30
Québec 34	Sab 9	Mh9, H1	3	moraine	Saf et m	2	30
Québec 35	Épn 9	Mh9	1	fluvio-glaciaire	Saf et m	2	15
Québec 36	Épn 9	Mh9, É8	1	moraine	Saf et m	2	15
Québec 37	Épn 9,	Mh9	3	moraine d'ablat.	Saf et m	2	15
Québec 38	Pig 9	É8, Cla7	1	fluvio-glaciaire	Sam et g	1	25
Québec 39	Pig 9	Cla9, É9	1	fluvio-glaciaire	Saf et m	1	33
Québec 40	Pig 9, Épn 1	É5, Mh6	1	fluvio-glaciaire	Sam et g	1	51

Annexe I (suite)

Dispositif	Végétation		Classe de pente†	Roche-mère		Classe# de drainage	Profondeur d'enracinement cm
	Arbres*	Au sol**		Dépôt	Texture††		
Ontario 1	Épn 5, Pig 1	H9, Mh5	1	moraine	ArLi, Ar	4	5
Ontario 2	Épn 4, Pig 2	Mh8, H1	2	moraine	ArLi, Ar	3	10
Ontario 3	Pig 6	Mh7, É2	1	fluvio-glaciaire	Saf et m	1	–
Ontario 4	Pig 6	Mh9, É8	1	fluvio-glaciaire	Sam et g	1	–
Ontario 5	Pig 8	Mh9, É6	3	lacustre	Sam et g	1	–
Ontario 6	Pig 6	É9, Mh7	1	fluvio-glaciaire	Saf et m	1	–
Ontario 7	Pig 8	É8, Mh8	2	fluvio-glaciaire	Saf et m	1	36
Ontario 8	Pig 8	É9, Mh7	1	fluvio-glaciaire	Saf et m	1	28
Ontario 9	Pig 7	É8	1	fluvio-glaciaire	Saf, SaL	1	36
Ontario 10	Pig 3	É2	1	fluvio-glaciaire	Saf, SaL	1	33
Ontario 11	Épn 6	Mh9, H6	1	lacustre	ArLi, Ar	5	8
Ontario 12	Épn 5	Mh9, H7	1	lacustre	ArLi, Ar	3	10
Ontario 13	Pig 4	Mh9, É2	1	fluvio-glaciaire	Saf et m	2	41
Ontario 14	Pig 4	Mh9, É4	2	fluvio-glaciaire	Saf et SaL	1	28
Ontario 15	Pig 5	Mh9, H5	2	fluvio-glaciaire	Sam et g	1	23
Ontario 16	Pig 5	Mh9, É3	2	fluvio-glaciaire	Saf et m	1	25
Ontario 17	Pig 8, Bob 1	Mh9, É2	2	fluvio-glaciaire	Sam et g	1	51
Ontario 18	Pig 5	Mh9, É3	1	fluvio-glaciaire	Sam et g	1	20
Manitoba 1	Pig 9, Épn 1	Mh9, Ms1	1	moraine d'ablat.	Saf et SaL	3	46
Manitoba 2	Pig 9, Épn 1	Mh8, H2	1	moraine d'ablat.	Sam et g	3	46
Manitoba 3	Pig 8, Épn 2	Mh8, Cla3	1	moraine d'ablat.	Sam et g	1	46
Manitoba 4	Pig 8, Épn 2	Mh8, H1	1	moraine d'ablat.	Sam et g	1	46
Manitoba 5	Épn 9	Mh7, Ms3	1	moraine d'ablat.	ArLi, Ar	3	38
Manitoba 6	Épn 9	Mh8	1	moraine d'ablat.	ArLi, Ar	3	38
Manitoba 7	Épn 6	Mh8, H1	2	moraine d'ablat.	ArLi, Ar	3	38
Manitoba 8	Épn 6	Ms8, H1	1	tourbe	–	6	30
Saskatchewan 1	Pig, 6, Épn 4	Cla, M8	1	fluvio-glaciaire	Saf et m	2	30
Saskatchewan 2	Pig 9	Mh9, H1	1	till remanié	Saf et m	2	48
Saskatchewan 3	Épn 9	Mh9, Cla	1	lacustre	ArLi, LSa	4	23
Saskatchewan 4	Pet 8, Peb 2	G3, H4	1	moraine d'ablat.	SaLi, LSa	3	30
Saskatchewan 5	Pig 6, Épn 4	Cla, Mh	1	fluvio-glaciaire	Saf et m	2	30
Alberta 1	Épb 9	Ms5, H4	1	lacustre	LLi, LAr	3	60
Alberta 2	Épb 6, P et 3	Mh7, H2	1	fluvio-glaciaire	SaLi, LSa	3	71
Alberta 3	Épb 9	Mh8, H1	1	lacustre	Saf et m	3/4	20

* Abréviations des essences d'arbres: Pin gris: Pig; Épinette noire: Épn; Épinette blanche: Épb; Sapin baumier: Sab; Tremble: Pet; Peuplier baumier: Peb; Bouleau à papier: Bob.

** Abréviations des arbustes, herbes et mousses: Mousses hypnacées: Mh; Mousses de sphaigne: M; Herbacées à feuilles larges: H; Éricacées: É; Herbes: G; Cladonie: Cla.

N.B.: Les chiffres qui suivent l'identification de l'espèce indiquent les fractions (dixièmes) du couvert ou de la couverture vivante.

† Classes de pente: 1: Nulle à faible (<5 %); 2: faible à modérée (6 à 15 %); 3: forte (16 à 30 %).

†† Texture: sable: Sa; Limon: Li; Loam: L; Argile: Ar; grossier: gr; moyen: m; fin: f; très fin: tf.

Drainage: Les classes de drainage sont celles définies dans *Manual for describing soils in the field*, pages 38 et 39.
Canada Soil Survey Committee, 1978 revised. Land Resource Research Institute, Agriculture Canada, Ottawa, Ont.

Annexe II. Accroissement quinquennal et réaction à la fertilisation dans chaque dispositif du programme interprovincial

Dispositif	Para-mètres*	Témoin			Accroissement supplémentaire dû aux traitements				
		Initial	Final	Accrois-sement	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Nouvelle- 1 Écosse	DHP	13,7	14,2	0,5					
	ST	43,6	47,1	3,5	1,4	1,5	0,0	1,0	1,0
	VT	292,0	320,0	28,0	11,2	10,9	-0,9	8,0	6,6
	VM	254,0	281,0	27,0	8,7	10,7	-1,3	6,9	6,2
Nouvelle- 2 Écosse	DHP	12,1	12,9	0,8					
	ST	47,1	54,0	6,9	-1,2	-0,1	0,7	-0,8	-0,3
	VT	246,2	293,5	47,4	-8,4	-1,9	4,9	-5,2	-2,0
	VM	185,1	231,9	46,8	-8,3	-0,8	5,2	-5,8	-1,7
Nouvelle- 3 Écosse	DHP	14,4	15,1	0,7					
	ST	40,0	44,0	3,8	-0,3	0,4	1,1	1,2	0,6
	VT	228,0	253,0	25,0	-3,1	2,1	6,1	6,8	1,5
	VM	195,6	220,3	24,7	-4,0	1,5	5,7	5,3	0,0
Nouvelle- 4 Écosse	DHP	12,8	12,9	0,1					
	ST	46,3	47,9	1,6	0,6	0,8	0,1	0,6	0,9
	VT	297,1	309,6	12,6	4,6	6,2	1,4	4,2	7,0
	VM	244,0	256,3	12,2	5,5	6,0	1,2	3,8	7,8
Nouvelle- 5 Écosse	DHP	11,6	12,1	0,5					
	ST	33,7	37,6	3,9	0,1	-0,2	-0,2	0,3	1,3
	VT	202,3	230,9	28,6	1,2	-1,9	-2,1	1,9	10,5
	VM	155,8	183,6	27,8	0,8	-1,3	-0,5	4,9	11,3
Nouveau- 1 Brunswick	DHP	15,4	15,8	0,4					
	ST	34,7	36,5	1,8	0,2	0,3	0,6	0,6	-0,1
	VT	209,0	222,0	13,0	1,3	2,4	4,0	4,1	-0,4
	VM	187,0	199,0	13,0	1,2	2,3	3,6	4,0	-0,6
Nouveau- 2 Brunswick	DHP	15,6	15,9	0,5					
	ST	31,2	33,5	2,2	0,1	0,1	0,4	0,2	0,1
	VT	171,0	187,0	15,0	1,0	0,2	2,8	1,5	0,9
	VM	157,0	162,0	15,0	1,1	0,3	3,1	1,4	1,0
Québec 1	DHP	13,3	13,9	0,6					
	ST	45,2	49,4	4,0	1,1	1,0	2,1	2,2	1,5
	VT	310,1	341,7	31,6	6,3	8,0	15,7	15,5	12,2
	VM	251,7	282,0	30,3	7,8	7,6	16,6	17,0	11,6
Québec 2	DHP	12,1	12,6	0,5					
	ST	40,2	44,1	4,0	0,5	0,5	0,2	1,5	1,2
	VT	259,2	290,1	30,9	2,8	3,1	1,7	10,5	7,9
	VM	203,1	233,0	29,9	3,5	7,6	2,0	11,8	11,3
Québec 3	DHP	13,8	14,5	0,7					
	ST	37,0	41,0	4,2	0,8	1,0	0,7	0,9	0,7
	VT	235,0	267,0	32,0	5,4	7,6	4,5	6,3	5,5
	VM	197,0	228,0	31,0	4,5	7,3	3,4	6,3	3,9

Annexe II (suite)

Dispositif	Paramètres*	Témoin			Accroissement supplémentaire dû aux traitements				
		Initial	Final	Accroissement	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Québec 4	DHP	10,9	11,4	0,5					
	ST	44,5	48,4	3,8	0,5	1,6	1,0	1,2	0,6
	VT	275,5	301,4	26,0	3,0	10,8	7,5	8,3	3,4
	VM	200,2	225,6	25,4	3,6	12,5	6,9	12,1	5,0
Québec 5	DHP	8,6	9,1	0,5					
	ST	40,6	45,7	5,1	1,4	1,3	2,5	1,2	2,3
	VT	237,4	272,2	34,8	10,6	10,3	17,6	8,6	16,2
	VM	116,8	152,8	36,0	10,1	9,4	18,8	7,8	14,8
Québec 6	DHP	9,9	10,4	0,5					
	ST	40,4	45,2	4,8	1,6	2,4	1,1	1,2	1,5
	VT	243,4	275,5	32,1	14,8	15,5	8,5	9,4	14,5
	VM	154,8	187,8	33,0	13,0	21,0	6,6	10,6	12,7
Québec 7	DHP	10,3	10,9	0,6					
	ST	42,7	47,3	4,6	-0,3	-0,6	0,2	0,2	-0,2
	VT	261,6	294,3	32,6	-2,2	-3,8	2,1	2,2	-1,1
	VM	174,0	208,5	34,5	-2,3	-4,7	0,6	1,5	-2,1
Québec 8	DHP	11,0	11,5	0,4					
	ST	32,1	34,6	2,5	0,6	0,3	0,7	-0,4	0,8
	VT	207,2	227,1	19,9	4,5	3,4	5,4	-3,0	6,5
	VM	150,9	171,4	20,5	5,2	2,9	5,9	-4,2	7,4
Québec 9	DHP	10,0	10,7	0,6					
	ST	29,1	33,0	3,9	-0,2	0,1	0,0	0,5	0,7
	VT	178,4	205,3	26,8	0,6	1,4	0,8	5,7	6,3
	VM	108,9	138,3	29,5	-0,8	-0,5	-3,3	1,1	10,8
Québec 10	DHP	11,4	11,9	0,5					
	ST	27,8	30,0	2,8	1,2	2,0	1,8	1,4	1,0
	VT	207,4	232,8	25,4	9,4	17,8	18,2	13,7	9,9
	VM	151,8	180,5	28,5	6,9	13,1	15,1	8,7	3,8
Québec 11	DHP	12,5	13,1	0,6					
	ST	29,8	32,8	3,0	0,6	0,6	0,9	2,3	1,2
	VT	236,5	266,1	29,6	5,9	5,9	9,2	23,3	11,5
	VM	191,0	219,2	28,3	4,8	4,1	9,7	23,4	10,8
Québec 12	DHP	9,7	10,3	0,6					
	ST	25,0	27,8	2,8	0,1	1,1	1,2	1,0	1,0
	VT	144,8	163,3	18,5	0,3	8,4	10,3	8,4	5,6
	VM	97,1	114,1	17,0	1,0	8,2	10,7	9,0	8,6
Québec 13	DHP	12,4	12,9	0,5					
	ST	36,2	39,0	2,7	1,1	0,7	1,3	1,1	0,6
	VT	231,7	252,8	21,1	7,5	5,4	9,4	6,6	3,5
	VM	182,2	208,8	21,5	10,6	5,4	11,0	5,8	6,1
Québec 14	DHP	11,4	12,1	0,7					
	ST	25,9	29,1	3,3	0,5	0,6	0,1	0,3	0,1
	VT	141,7	163,5	21,8	3,2	3,6	0,6	0,5	0,7
	VM	102,6	124,6	21,9	5,0	5,9	1,5	2,2	1,7

Annexe II (suite)

Dispositif	Paramètres*	Témoin			Accroissement supplémentaire dû aux traitements				
		Initial	Final	Accroissement	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Québec 15	DHP	11,1	11,6	0,5					
	ST	35,8	38,9	3,1	1,0	1,1	0,7	0,8	0,6
	VT	227,9	254,5	26,6	8,7	9,9	6,2	8,4	5,8
	VM	167,2	193,9	26,8	8,0	10,0	6,0	6,4	7,0
Québec 16	DHP	11,7	12,4	0,7					
	ST	23,2	25,9	2,8	1,1	2,1	1,5	2,3	1,7
	VT	144,2	165,4	21,1	8,3	15,7	11,6	17,7	13,1
	VM	107,3	128,3	20,6	8,6	17,2	11,0	19,6	13,0
Québec 17	DHP	10,5	11,3	0,8					
	ST	16,8	19,0	2,2	0,2	0,5	0,4	0,4	0,0
	VT	92,7	107,5	14,8	2,5	4,0	2,9	2,9	0,6
	VM	65,3	79,7	14,4	3,1	3,3	2,6	2,6	0,9
Québec 18	DHP	9,4	9,9	0,6					
	ST	20,2	22,7	2,6	0,8	1,2	1,3	1,1	1,3
	VT	123,9	143,3	19,4	7,1	9,7	9,7	8,9	10,5
	VM	64,4	86,4	22,0	6,4	9,7	13,0	9,2	8,6
Québec 19	DHP	12,4	13,0	0,6					
	ST	20,8	22,9	2,1	0,4	0,8	1,0	1,1	0,7
	VT	150,3	168,4	18,1	3,6	6,8	7,6	8,8	6,0
	VM	117,4	135,7	18,4	3,0	7,0	8,3	9,2	5,0
Québec 20	DHP	14,2	14,9	0,7					
	ST	26,5	29,2	2,7	0,7	0,6	0,3	0,8	0,4
	VT	208,9	232,7	23,8	5,9	5,2	2,4	6,3	3,3
	VM	176,8	201,0	24,1	3,9	4,1	2,0	6,3	3,0
Québec 21	DHP	9,8	10,5	0,7					
	ST	22,9	26,1	3,4	0,3	0,5	0,9	-0,3	0,5
	VT	109,2	133,1	23,9	2,3	4,5	6,8	-1,7	4,2
	VM	74,5	95,2	20,6	1,3	6,1	5,3	-0,3	-0,1
Québec 22	DHP	10,8	11,3	0,5					
	ST	22,6	24,6	2,0	0,3	-0,1	0,4	-0,1	0,1
	VT	116,2	129,0	12,8	2,0	-0,8	2,6	0,6	1,0
	VM	86,5	98,3	11,7	3,0	-0,5	3,9	0,6	1,8
Québec 23	DHP	8,7	9,4	0,7					
	ST	21,1	25,0	3,9	0,0	0,3	1,2	0,6	1,1
	VT	118,4	145,0	26,6	3,7	5,1	8,8	7,2	8,7
	VM	49,3	80,9	31,6	-1,0	2,8	7,5	3,8	5,7
Québec 24	DHP	9,7	10,4	0,7					
	ST	25,2	28,9	3,7	0,8	0,8	0,9	1,2	1,2
	VT	152,5	181,7	29,2	6,3	6,7	7,7	10,5	9,8
	VM	104,2	133,1	29,0	6,3	4,9	6,7	7,8	9,3
Québec 25	DHP	10,4	11,0	0,6					
	ST	23,4	26,4	3,0	1,1	0,3	1,5	0,9	0,6
	VT	111,4	129,4	18,0	4,6	1,3	7,7	4,7	3,2
	VM	75,7	94,6	18,9	6,4	0,4	5,7	5,2	1,9

Annexe II (suite)

Dispositif	Paramètres*	Témoin			Accroissement supplémentaire dû aux traitements				
		Initial	Final	Accroissement	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Québec 26	DHP	11,7	12,3	0,6					
	ST	20,9	23,0	2,2	0,5	0,8	1,3	1,1	1,0
	VT	122,9	138,1	15,2	3,5	5,2	9,1	8,1	7,7
	VM	91,9	108,6	16,7	3,8	4,5	8,1	7,5	6,4
Québec 27	DHP	11,5	12,0	0,5					
	ST	45,0	49,3	4,3	0,9	1,2	0,1	0,6	0,0
	VT	276,2	307,7	31,5	6,2	8,7	0,7	4,8	-0,1
	VM	206,0	238,4	32,4	6,4	8,8	-0,6	3,3	-0,6
Québec 28	DHP	13,2	13,8	0,6					
	ST	39,8	43,2	3,3	0,1	0,6	-0,2	0,0	0,4
	VT	219,3	242,4	23,2	0,6	4,1	-0,6	0,6	3,1
	VM	184,0	206,8	22,8	0,6	3,6	-1,1	-0,3	2,7
Québec 29	DHP	10,7	11,2	0,5					
	ST	41,9	46,4	4,5	0,7	1,0	1,4	1,3	1,3
	VT	239,0	270,5	31,5	3,9	6,2	8,9	8,6	8,7
	VM	169,9	203,6	33,7	2,8	5,7	6,4	5,7	7,8
Québec 30	DHP	11,9	12,4	0,5					
	ST	30,2	32,6	2,3	0,8	0,6	0,7	1,0	0,2
	VT	161,0	177,1	16,1	6,0	4,4	5,2	7,6	1,9
	VM	122,7	138,5	15,8	6,4	4,1	4,9	7,5	1,3
Québec 31	DHP	15,6	16,3	0,7					
	ST	30,7	33,5	2,7	0,2	0,6	1,0	0,9	0,5
	VT	227,9	251,3	23,5	1,6	5,1	8,7	7,6	4,6
	VM	200,7	223,8	23,1	1,1	5,0	8,7	7,6	4,4
Québec 32	DHP	12,3	13,1	0,8					
	ST	21,5	24,0	2,5	0,4	0,6	1,0	1,0	0,8
	VT	126,1	146,4	20,3	3,8	3,9	9,3	8,4	7,5
	VM	100,6	119,5	18,9	4,8	4,8	10,9	9,7	8,2
Québec 33	DHP	10,2	10,8	0,6					
	ST	19,1	21,3	2,2	0,2	0,5	0,5	1,0	1,1
	VT	103,3	117,2	13,9	1,4	3,4	3,1	6,7	7,4
	VM	64,0	79,5	15,5	1,1	2,2	3,9	5,6	8,1
Québec 34	DHP	16,5	17,1	0,5					
	ST	31,5	33,6	2,1	1,0	0,3	0,3	0,3	0,7
	VT	213,2	229,9	16,7	7,1	2,6	3,0	2,2	6,4
	VM	188,6	204,8	16,2	8,6	3,0	3,4	3,2	6,0
Québec 35	DHP	9,1	9,6	0,5					
	ST	35,6	39,6	4,0	1,1	0,4	1,4	0,6	1,8
	VT	146,9	166,9	20,0	5,4	2,8	8,4	4,6	9,5
	VM	72,1	93,4	21,2	5,1	3,2	11,3	6,7	10,3
Québec 36	DHP	9,1	9,5	0,4					
	ST	26,6	28,9	2,3	1,6	1,7	1,6	0,5	1,8
	VT	122,8	136,2	13,3	9,3	10,1	9,6	2,5	10,6
	VM	68,0	79,8	11,8	11,5	9,7	12,4	4,7	12,6

Annexe II (suite)

Dispositif	Paramètres*	Témoin			Accroissement supplémentaire dû aux traitements				
		Initial	Final	Accroissement	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Québec 37	DHP	10,2	10,5	0,3					
	ST	45,4	48,3	2,9	-0,3	0,2	0,3	0,5	-0,1
	VT	281,1	302,0	20,9	-0,1	3,2	4,3	5,2	0,5
	VM	177,2	199,9	22,7	-1,2	2,4	2,9	2,9	0,9
Québec 38	DHP	9,3	9,7	0,4					
	ST	19,3	21,0	1,7	0,3	0,9	0,8	1,4	1,4
	VT	99,9	110,1	10,2	1,8	6,5	5,5	9,2	9,0
	VM	49,6	60,9	11,3	-0,5	6,8	5,5	11,0	8,6
Québec 39	DHP	8,3	8,8	0,5					
	ST	16,4	18,5	2,2	0,5	1,2	1,8	1,5	1,5
	VT	72,7	84,3	11,7	2,9	5,8	10,1	7,8	8,2
	VM	22,7	35,2	12,5	2,9	3,0	13,4	8,3	8,5
Québec 40	DHP	12,3	13,0	0,7					
	ST	26,4	29,6	3,1	0,6	1,2	1,0	1,6	1,4
	VT	192,6	219,6	27,1	5,8	10,6	8,6	14,6	12,1
	VM	150,7	178,5	27,8	4,4	9,8	7,6	12,7	9,0
Ontario 1	DHP	4,6	12,1	0,5					
	ST	34,9	38,8	3,8	-0,5	-1,2	-0,1	-0,3	-1,4
	VT	229,0	261,0	31,5	-3,3	-7,8	-0,6	-1,4	-9,3
	VM	172,0	206,0	33,7	-6,6	-11,1	-4,5	-5,2	-12,8
Ontario 2	DHP	13,4	14,0	0,6					
	ST	37,6	41,6	4,0	-0,2	-0,4	0,1	-1,0	-0,4
	VT	271,7	309,0	37,3	-1,5	-3,6	1,5	-7,6	-3,4
	VM	223,3	258,6	35,3	-1,3	-4,3	1,5	-7,3	-3,4
Ontario 3	DHP	13,7	14,3	0,6					
	ST	22,7	24,6	2,0	1,0	0,9	1,2	1,0	0,9
	VT	163,0	181,0	17,5	8,4	8,3	10,3	8,8	8,0
	VM	137,1	154,0	17,4	8,0	8,0	10,4	8,5	7,8
Ontario 4	DHP	15,4	15,9	0,5					
	ST	25,7	27,5	1,8	0,8	0,8	0,6	1,4	0,9
	VT	212,0	230,0	18,3	7,1	6,8	4,9	12,4	8,3
	VM	186,0	204,0	18,1	7,1	6,9	4,6	12,2	8,0
Ontario 5	DHP	15,0	15,5	0,5					
	ST	28,5	30,5	2,1	1,0	0,4	0,7	0,7	0,6
	VT	246,0	267,7	21,8	10,4	4,2	6,9	7,8	6,6
	VM	213,3	234,9	21,6	10,9	4,1	7,1	7,6	6,7
Ontario 6	DHP	12,4	13,0	0,6					
	ST	23,8	26,4	2,5	1,8	1,4	1,8	2,1	2,0
	VT	181,0	203,6	22,7	15,9	12,2	16,5	18,9	18,0
	VM	143,6	166,9	23,3	15,2	10,7	16,1	18,0	19,7
Ontario 7	DHP	10,1	10,8	0,6					
	ST	25,0	28,2	3,3	0,7	1,6	1,8	2,1	2,1
	VT	161,4	188,4	26,9	5,2	12,7	13,6	16,9	16,8
	VM	86,9	113,1	26,2	5,9	12,7	13,0	16,5	16,4

Annexe II (suite)

Dispositif	Paramètres*	Témoin			Accroissement supplémentaire dû aux traitements				
		Initial	Final	Accroissement	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Ontario 8	DHP	9,0	9,8	0,7					
	ST	24,8	29,4	4,6	0,5	0,4	1,3	2,1	1,4
	VT	147,2	184,4	36,6	-0,8	5,7	12,0	13,7	11,7
	VM	74,5	114,5	40,0	-9,2	5,2	6,9	19,3	10,6
Ontario 9	DHP	8,8	9,7	0,9					
	ST	20,4	25,0	4,5	0,6	1,7	2,3	1,8	1,9
	VT	105,7	133,6	28,0	5,3	10,8	14,8	13,1	10,9
	VM	47,4	75,5	27,9	7,0	13,4	20,0	16,4	12,7
Ontario 10	DHP	8,8	10,0	1,1					
	ST	20,6	26,4	5,8	0,5	1,9	0,8	1,0	1,9
	VT	108,0	145,5	37,6	0,2	12,9	4,9	4,4	7,8
	VM	56,0	95,1	39,0	-4,9	12,9	4,1	2,4	-0,1
Ontario 11	DHP	14,8	15,3	0,5					
	ST	40,8	43,8	3,0	-0,6	-0,2	-1,0	0,6	0,5
	VT	284,0	308,7	24,8	-4,6	-2,4	-8,0	4,6	2,4
	VM	246,4	270,6	24,2	-4,6	-2,1	-7,7	4,7	3,0
Ontario 12	DHP	21,0	21,6	0,6					
	ST	68,8	73,2	4,2	-0,3	-0,1	-0,6	-0,6	-1,1
	VT	542,7	573,0	30,3	5,7	3,1	1,3	-2,5	3,6
	VM	500,0	528,0	28,0	5,9	4,5	3,0	-0,5	4,2
Ontario 13	DHP	14,2	14,8	0,6					
	ST	31,4	34,4	3,0	1,3	2,0	0,0	1,9	1,1
	VT	241,7	268,3	26,6	11,4	17,8	-0,9	16,2	9,3
	VM	205,8	232,3	26,5	11,3	18,0	-1,4	15,9	8,9
Ontario 14	DHP	14,6	15,1	0,5					
	ST	31,9	34,3	2,5	0,9	1,2	1,3	2,1	1,7
	VT	246,3	268,9	22,5	8,2	11,0	12,5	20,9	15,7
	VM	212,7	234,6	21,9	8,8	11,9	13,4	23,6	16,0
Ontario 15	DHP	13,5	14,1	0,6					
	ST	31,0	33,9	2,9	0,7	1,0	-0,1	1,5	0,9
	VT	223,9	249,3	25,3	5,7	8,6	-1,0	12,5	8,0
	VM	186,1	211,4	25,3	5,8	8,7	-1,1	12,6	7,9
Ontario 16	DHP	13,5	14,2	0,7					
	ST	26,8	29,8	3,0	0,5	0,1	0,7	0,9	0,7
	VT	190,1	215,8	25,7	4,2	0,9	6,3	8,2	6,6
	VM	157,9	183,4	25,5	4,1	0,9	6,0	7,9	6,5
Ontario 17	DHP	8,2	8,7	0,5					
	ST	25,6	29,0	3,4	0,5	1,3	0,7	1,2	1,0
	VT	143,7	167,2	23,5	3,5	7,7	4,8	10,4	5,2
	VM	49,6	78,3	28,7	4,2	5,0	2,0	9,0	3,7
Ontario 18	DHP	8,5	8,9	0,4					
	ST	24,4	27,1	2,7	1,9	3,0	2,7	2,2	3,0
	VT	130,5	148,5	18,0	12,1	19,1	18,2	14,7	19,9
	MV	48,6	69,2	20,6	14,2	22,9	21,6	15,2	23,3

Annexe II (suite)

Dispositif	Paramètres*	Témoin			Accroissement supplémentaire dû aux traitements				
		Initial	Final	Accroissement	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Manitoba 1	DHP	14,1	14,7	0,6					
	ST	34,2	37,0	2,8	0,6	0,8	0,2	0,9	1,4
	VT	235,4	258,8	23,4	5,0	5,7	1,3	7,8	10,4
	VM	200,1	223,6	23,5	4,9	6,8	1,5	7,7	10,6
Manitoba 2	DHP	13,9	14,4	0,5					
	ST	29,6	31,9	2,3	0,4	1,3	0,7	0,4	1,0
	VT	202,0	220,5	18,5	3,2	11,1	6,2	3,7	8,8
	VM	169,1	187,5	18,3	3,4	10,6	5,9	3,1	8,1
Manitoba 3	DHP	12,7	13,1	0,4					
	ST	26,4	28,2	1,8	0,8	0,9	1,8	1,7	1,8
	VT	156,1	168,8	12,7	5,8	6,5	11,9	11,4	12,0
	VM	122,5	135,3	12,8	5,4	6,2	11,6	11,6	12,2
Manitoba 4	DHP	14,6	15,0	0,4					
	ST	33,1	35,4	2,2	1,1	0,8	1,2	1,1	1,0
	VT	217,8	235,3	17,5	9,0	6,5	9,9	8,6	6,6
	VM	182,5	200,1	17,5	9,0	6,8	9,9	9,2	8,7
Manitoba 5	DHP	9,6	10,0	0,4					
	ST	38,8	42,2	3,4	0,6	0,7	0,8	0,3	0,6
	VT	205,2	227,3	22,3	3,6	2,8	4,2	0,5	3,9
	VM	82,3	147,4	23,0	2,2	0,1	2,9	-0,2	0,8
Manitoba 6	DHP	13,0	13,4	0,4					
	ST	48,9	51,9	3,0	0,5	0,3	0,3	0,5	0,4
	VT	308,0	329,6	21,6	3,8	2,2	2,3	3,6	2,9
	VM	252,4	274,2	21,8	3,8	1,6	1,7	4,2	3,5
Manitoba 7	DHP	10,5	11,0	0,5					
	ST	39,7	43,6	3,9	0,3	0,8	0,3	0,0	0,4
	VT	202,1	227,4	25,3	1,8	5,1	1,7	0,0	2,4
	VM	130,5	157,6	27,1	-2,4	2,4	1,0	-1,4	5,0
Manitoba 8	DHP	13,4	13,8	0,4					
	ST	53,9	57,6	3,5	-0,4	-0,5	-0,1	0,0	0,3
	VT	358,8	385,1	26,2	-2,9	-3,8	-0,4	0,3	2,4
	VM	296,3	322,3	25,9	-2,0	-2,4	1,0	0,8	2,8
Saskatchewan 1	DHP	9,6	10,0	0,4					
	ST	34,4	37,2	2,8	0,4	1,7	2,3	2,4	2,3
	VT	199,3	220,0	20,7	3,2	12,4	17,4	18,1	18,9
	VM	112,7	135,3	22,5	3,0	10,3	19,2	17,8	18,8
Saskatchewan 2	DHP	14,6	15,0	0,4					
	ST	29,8	31,5	1,7	0,2	0,4	0,6	0,6	0,6
	VT	232,8	248,6	15,8	1,8	3,1	5,0	5,3	5,9
	VM	200,3	216,0	15,7	1,4	2,9	5,4	5,0	5,7
Saskatchewan 3	DHP	9,6	10,0	0,4					
	ST	53,5	57,5	4,0	0,1	0,4	0,7	0,3	0,7
	VT	299,9	327,8	27,9	4,5	5,7	8,7	4,6	8,3
	VM	182,2	210,7	28,5	5,1	4,5	9,7	5,6	7,9

Annexe II (suite)

Dispositif	Paramètres*	Témoin			Accroissement supplémentaire dû aux traitements				
		Initial	Final	Accroissement	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Saskatchewan 4	DHP	8,9	9,6	0,7					
	ST	22,9	26,6	3,8	0,1	1,7	1,9	2,6	3,9
	VT	145,0	178,5	33,5	2,1	15,8	16,6	25,9	37,3
	VM	73,0	104,9	31,9	-0,7	19,1	18,4	20,4	37,4
Saskatchewan 5	DHP	12,3	12,7	0,4					
	ST	29,2	31,2	1,9	0,6	2,3	1,4	1,6	1,7
	VT	214,4	233,1	18,7	5,3	22,1	12,5	14,1	15,8
	VM	168,1	186,2	18,1	6,5	22,4	13,1	15,4	17,0
Alberta 1	DHP	22,5	23,3	0,8					
	ST	41,3	44,3	3,0	1,0	1,3	0,3	0,4	0,1
	VT	410,1	443,6	33,4	11,3	14,5	4,6	4,5	2,3
	VM	380,7	413,5	32,9	10,2	13,3	3,8	3,7	1,5
Alberta 2	DHP	10,8	11,3	0,5					
	ST	46,1	50,7	4,7	0,7	1,0	0,2	0,6	-0,3
	VT	290,6	327,3	36,7	3,8	7,1	1,3	6,0	-2,0
	VM	208,0	243,6	35,6	2,2	6,2	1,0	4,8	-3,2
Alberta 3	DHP	9,4	9,9	0,5					
	ST	32,2	36,3	4,1	0,9	1,9	1,9	1,7	2,0
	VT	210,6	245,1	34,5	5,4	14,7	14,2	12,0	16,2
	VM	148,5	182,4	33,9	4,7	13,2	13,4	11,1	13,9

* DHP exprimé en cm; ST = m^2/ha, VT = m^3/ha; VM = m^3/ha.

Annexe III. Signifiance statistique des effets de la fertilisation sur l'accroissement en volume total (VT) dans chaque dispositif

Dispositif	F*	Traitements selon l'ordre croissant des accroissements moyens en volume total**					
Nouvelle-Écosse 1	7,16†	2N + P	T	2N + PK	2N + K	2N	N
Nouvelle-Écosse 2	0,90	N	2N + K	2N + PK	2N	T	2N + P
Nouvelle-Écosse 3	3,95	N	T	2N + PK	2N	2N + P	2N + K
Nouvelle-Écosse 4	8,81†	T	2N + P	2N + K	N	2N	2N + PK
Nouvelle-Écosse 5	1,31	2N + P	2N	T	N	2N + K	2N + PK
Nouveau-Brunswick 1	4,97	2N + PK	T	N	2N	2N + P	2N + K
Nouveau-Brunswick 2	0,35	T	2N	2N + PK	N	2N + K	2N + P
Québec 1	3,45	T	N	2N	2N + PK	2N + K	2N + P
Québec 2	2,31	T	2N + P	N	2N	2N + PK	2N + K
Québec 3	0,67	T	2N + P	N	2N + PK	2N + K	2N
Québec 4	2,08	T	N	2N + PK	2N + P	2N + K	2N
Québec 5	14,09††	T	2N + K	2N	N	2N + PK	2N + P
Québec 6	7,28†	T	2N + P	2N + K	2N + PK	N	2N
Québec 7	0,97	2N	N	2N + PK	T	2N + P	2N + K
Québec 8	14,77††	2N + K	T	2N	N	2N + P	2N + PK
Québec 9	4,85	T	N	2N + P	2N	2N + K	2N + PK
Québec 10	1,69	T	N	2N + PK	2N + K	2N	2N + P
Québec 11	7,00†	T	2N	N	2N + P	2N + PK	2N + K
Québec 12	3,12	T	N	2N + PK	2N	2N + K	2N + P
Québec 13	1,16	T	2N + PK	2N	2N + K	N	2N + P
Québec 14	1,35	T	2N + K	2N + P	2N + PK	N	2N
Québec 15	2,00	T	2N + P	2N + PK	2N + K	N	2N
Québec 16	1,01	T	N	2N + P	2N + PK	2N	2N + K
Québec 17	0,65	T	2N + PK	N	2N + K	2N + P	2N
Québec 18	4,38	T	N	2N + K	2N	2N + P	2N + PK
Québec 19	10,28†	T	N	2N + PK	2N	2N + P	2N + K
Québec 20	8,68†	T	2N + P	2N + PK	2N	N	2N + K
Québec 21	5,04	2N + K	T	N	2N	2N + PK	2N + P
Québec 22	2,41	2N	2N + K	T	2N + PK	N	2N + P
Québec 23	7,86†	T	N	2N	2N + K	2N + PK	2N + P
Québec 24	1,29	T	N	2N	2N + P	2N + PK	2N + K
Québec 25	1,10	T	2N	2N + PK	N	2N + K	2N + P
Québec 26	6,52†	T	N	2N	2N + PK	2N + K	2N + P
Québec 27	6,69†	2N + PK	T	2N + P	2N + K	N	2N
Québec 28	4,12	2N + P	T	N	2N + K	2N + PK	2N
Québec 29	1,68	T	N	2N	2N + K	2N + PK	2N + P
Québec 30	2,24	T	2N + PK	2N	2N + P	N	2N + K
Québec 31	1,30	T	N	2N + PK	2N	2N + K	2N + P
Québec 32	3,81	T	N	2N	2N + PK	2N + K	2N + P
Québec 33	2,84	T	N	2N + P	2N	2N + K	2N + PK
Québec 34	6,97	T	2N + K	2N	2N + P	2N + PK	N
Québec 35	31,09††	T	2N	2N + K	N	2N + P	2N + PK
Québec 36	8,53†	T	2N + K	N	2N + P	2N	2N + PK
Québec 37	0,56	N	T	2N + PK	2N	2N + P	2N + K
Québec 38	23,49††	T	N	2N + P	2N	2N + PK	2N + K
Québec 39	2,88	T	N	2N	2N + K	2N + PK	2N + P
Québec 40	4,02	T	N	2N + P	2N	2N + PK	2N + K

Annexe III (suite)

Dispositif	F*	Traitements selon l'ordre croissant des accroissements moyens en volume total (VT)**					
Ontario 1	1,32	2N + PK	2N	N	2N + K	2N + P	T
Ontario 2	0,44	2N + K	2N	2N + PK	N	2N + P	T
Ontario 3	5,48	T	2N + PK	2N	N	2N + K	2N + P
Ontario 4	12,66†	T	2N + P	2N	N	2N + PK	2N + K
Ontario 5	4,99	T	2N	2N + P	2N + PK	2N + K	N
Ontario 6	12,86†	T	2N	N	2N + P	2N + PK	2N + K
Ontario 7	5,95	T	N	2N	2N + P	2N + PK	2N + K
Ontario 8	6,30	N	T	2N	2N + PK	2N + P	2N + K
Ontario 9	9,46	T	N	2N	2N + PK	2N + K	2N + P
Ontario 10	11,09†	T	N	2N + K	2N + P	2N + PK	2N
Ontario 11	8,57†	2N + P	N	2N	T	2N + PK	2N + K
Ontario 12	0,32	2N + K	T	2N + P	2N	2N + PK	N
Ontario 13	10,49†	2N + P	T	2N + PK	N	2N + K	2N
Ontario 14	3,71	T	N	2N	2N + P	2N + PK	2N + K
Ontario 15	4,08	2N + P	T	N	2N + PK	2N	2N + K
Ontario 16	4,17	T	2N	N	2N + P	2N + PK	2N + K
Ontario 17	12,51†	T	N	2N + P	2N + PK	2N	2N + K
Ontario 18	30,46††	T	N	2N + K	2N + P	2N	2N + PK
Manitoba 1	1,61	T	2N + P	N	2N	2N + K	2N + PK
Manitoba 2	2,18	T	N	2N + K	2N + P	2N + PK	2N
Manitoba 3	7,11†	T	N	2N	2N + K	2N + P	2N + PK
Manitoba 4	2,49	T	2N	2N + PK	2N + K	N	2N + P
Manitoba 5	0,40	T	2N + K	N	2N + PK	2N	2N + P
Manitoba 6	0,69	T	2N	2N + P	2N + PK	2N + K	N
Manitoba 7	1,84	2N + K	T	2N + P	N	2N + PK	2N
Manitoba 8	2,31	2N	N	T	2N + K	2N + P	2N + PK
Saskatchewan 1	26,85††	T	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Saskatchewan 2	3,70	T	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Saskatchewan 3	1,68	T	N	2N + K	2N	2N + PK	2N + P
Saskatchewan 4	12,21††	T	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Saskatchewan 5	3,74	T	N	2N + P	2N + K	2N + PK	2N
Alberta 1	1,62	T	2N + PK	2N + K	2N + P	N	2N
Alberta 2	0,78	2N + PK	T	2N + P	N	2N + K	2N
Alberta 3	3,07	T	N	2N + K	2N + P	2N	2N + PK

* Les valeurs de *F* obtenues par covariance sont soulignées, tandis que les accroissements présentés selon l'ordre croissant ont été ajustés.

** Les traitements reliés par une ligne ont des moyennes qui ne diffèrent pas au niveau de P = 0,1.

† *F* est significatif à P = 0,05.

†† *F* est significatif à P = 0,01.

Annexe IV. Pertes en volume dues à la mortalité des tiges et gains en volume marchand dus au recrutement, par dispositif et par traitement

Dispositif	Mortalité						Recrutement					
	T	N	2N	2N+P	2N+K	2N+PK	T	N	2N	2N+P	2N+K	2N+PK
	m³/ha*						m³/ha*					
Nouvelle-Écosse 1	12,1	11,2	73,7	60,2	8,9	58,7	0,0	0,0	1,7	0,0	0,8	0,8
Nouvelle-Écosse 2	16,3	17,3	18,7	19,4	16,1	13,3	0,8	1,2	5,7	2,9	0,0	1,2
Nouvelle-Écosse 3	37,1	33,9	38,4	33,6	54,9	39,0	0,6	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0
Nouvelle-Écosse 4	3,4	15,5	2,4	16,1	4,7	3,7	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,4
Nouvelle-Écosse 5	6,1	4,1	4,6	4,7	14,1	6,6	0,0	1,2	0,6	1,2	1,9	0,6
Nouveau-Brunswick 1	53,6	65,0	39,0	49,5	54,9	44,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nouveau-Brunswick 2	58,0	44,9	60,4	34,1	48,3	32,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0
Québec 1	28,0	19,3	13,0	13,5	21,4	25,4	0,6	3,1	0,0	1,8	2,4	0,0
Québec 2	13,1	12,3	13,3	16,7	9,2	6,0	1,8	3,6	0,9	3,8	5,3	6,4
Québec 3	10,5	13,0	9,9	11,0	14,8	78,9	1,2	0,6	1,3	0,6	1,9	0,0
Québec 4	16,0	16,9	13,6	13,4	16,0	19,3	2,1	3,4	4,1	0,6	6,6	4,5
Québec 5	6,7	6,2	5,3	4,7	10,4	11,3	12,2	11,5	12,0	16,6	13,9	15,5
Québec 6	3,0	4,8	8,3	4,6	6,9	2,6	5,1	2,2	14,2	3,5	7,1	1,7
Québec 7	3,2	0,7	12,6	6,9	1,3	10,6	6,3	5,5	3,2	3,2	5,0	3,5
Québec 8	15,7	21,7	9,1	17,7	24,4	28,4	1,3	2,5	0,0	3,2	0,5	2,6
Québec 9	9,8	8,0	6,8	9,7	7,3	7,8	8,2	4,1	3,8	2,7	1,4	13,2
Québec 10	4,5	6,6	9,9	3,2	1,8	5,5	6,5	7,9	4,9	4,1	3,4	1,4
Québec 11	6,8	9,7	4,3	3,6	1,5	13,4	0,5	0,6	0,9	2,2	2,3	0,5
Québec 12	13,6	40,3	13,6	11,8	17,3	8,0	2,3	4,9	3,8	4,0	3,1	8,2
Québec 13	5,0	3,9	3,8	9,2	2,7	9,3	1,3	6,2	1,9	5,3	3,7	5,9
Québec 14	1,3	0,5	1,1	2,7	0,8	2,4	2,6	5,4	7,1	3,0	5,7	3,5
Québec 15	2,3	4,0	7,0	14,2	3,9	11,8	3,8	3,1	5,6	6,0	1,1	4,9
Québec 16	11,6	7,5	3,3	4,2	34,9	26,6	1,9	2,6	2,9	1,5	4,1	1,5
Québec 17	2,1	8,9	6,3	2,1	4,3	12,1	4,1	3,5	4,9	3,6	3,0	2,9
Québec 18	3,6	8,4	11,1	17,2	23,5	22,2	6,8	3,4	4,6	12,2	4,5	2,9
Québec 19	5,9	8,6	12,3	9,1	7,3	9,8	1,0	0,4	0,8	2,4	1,9	0,0
Québec 20	6,7	13,7	16,1	14,5	8,9	18,3	2,1	1,6	0,4	0,5	3,2	0,6
Québec 21	0,0	0,3	0,3	0,6	0,0	2,6	4,3	1,0	4,2	2,2	0,8	3,5
Québec 22	2,5	9,1	23,3	4,7	3,2	0,6	0,3	1,7	2,2	3,3	1,9	0,9
Québec 23	16,7	16,5	14,4	7,9	7,8	13,4	10,1	7,0	3,3	12,3	3,4	10,7
Québec 24	4,9	0,7	3,7	4,6	1,6	9,0	5,3	5,1	2,9	3,4	2,3	3,8
Québec 25	0,6	0,0	1,6	0,6	0,3	0,0	3,7	9,4	3,7	4,7	6,9	2,2
Québec 26	2,3	1,8	0,3	1,6	1,1	0,6	1,6	2,2	1,7	1,0	1,3	0,4
Québec 27	40,4	42,0	41,4	55,6	47,5	27,9	2,6	2,5	2,4	0,6	0,5	2,0
Québec 28	6,7	3,6	7,0	4,2	2,7	2,1	1,8	0,9	0,2	0,0	0,6	0,4
Québec 29	4,0	5,3	8,2	5,5	4,2	4,9	5,3	6,2	5,4	4,4	4,1	5,1
Québec 30	11,6	14,3	15,0	32,4	21,2	17,8	0,9	0,9	0,0	0,0	0,2	0,0
Québec 31	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,3	0,2	0,0	0,2	0,4	0,3
Québec 32	5,2	6,0	26,0	5,6	10,3	3,3	2,3	5,0	2,8	5,2	4,1	4,9
Québec 33	23,0	19,7	18,6	5,7	6,3	8,3	2,3	5,0	2,8	5,2	4,1	4,9
Québec 34	48,2	72,1	21,8	43,6	37,3	65,5	0,0	1,3	0,4	0,4	0,5	0,0
Québec 35	2,8	1,6	1,4	2,1	4,0	3,7	5,6	6,8	4,8	8,3	7,0	8,9
Québec 36	3,1	0,7	0,5	1,3	2,4	2,2	2,1	6,0	3,5	5,9	4,5	5,7
Québec 37	8,0	30,4	36,4	72,9	22,6	10,8	4,7	1,3	1,8	1,0	0,0	3,6
Québec 38	2,8	0,9	1,8	4,1	2,6	3,2	3,2	1,7	3,4	3,9	6,3	5,7
Québec 39	3,0	4,0	1,7	3,0	3,4	2,0	5,4	5,4	9,7	12,0	11,7	10,7
Québec 40	3,1	0,0	2,4	4,2	3,0	9,8	1,7	0,7	0,0	0,8	1,0	1,0

* Les facteurs de conversion aux mesures du système impérial sont présentés à l'annexe V.

Annexe IV (suite)

Dispositif	Mortalité						Recrutement					
	T	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK	T	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
	m^3/ha*						m^3/ha*					
Ontario 1	16,8	12,4	5,7	5,5	27,5	18,2	4,5	0,0	0,6	0,7	1,3	0,0
Ontario 2	16,8	13,9	34,3	30,7	15,4	16,0	1,1	0,5	0,0	0,6	0,5	1,0
Ontario 3	8,8	6,0	2,7	1,8	9,8	8,7	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0
Ontario 4	7,2	9,1	7,1	6,6	14,2	5,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
Ontario 5	8,1	7,1	7,2	11,4	7,5	17,0	0,0	0,2	0,0	0,2	0,2	0,2
Ontario 6	10,6	15,0	14,0	10,8	17,5	7,9	0,8	1,0	0,0	0,9	0,8	3,6
Ontario 7	2,1	3,0	11,1	6,0	15,6	4,9	2,1	4,5	2,6	6,5	4,6	2,5
Ontario 8	5,6	7,4	24,8	24,5	5,9	17,5	6,7	4,6	5,6	4,4	12,8	7,4
Ontario 9	3,3	2,4	6,6	7,1	2,9	5,8	9,7	11,7	8,8	19,8	13,8	8,7
Ontario 10	0,0	0,5	0,7	0,2	0,3	0,5	10,8	19,9	14,7	14,0	22,1	25,8
Ontario 11	23,7	62,2	22,3	118,3	35,7	28,2	0,0	0,0	0,4	0,0	0,3	0,3
Ontario 12	38,3	156,6	84,3	74,9	134,1	141,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ontario 13	16,2	20,6	9,9	13,6	18,5	15,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ontario 14	32,2	24,7	11,1	13,7	16,7	24,3	0,0	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0
Ontario 15	13,1	14,5	13,5	9,0	6,0	23,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ontario 16	9,7	6,3	5,7	7,8	6,1	5,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0
Ontario 17	5,2	7,1	1,9	4,7	12,8	10,0	9,2	11,3	13,8	8,7	4,7	11,1
Ontario 18	6,4	5,6	5,3	4,7	9,0	4,0	6,7	16,9	26,4	16,2	9,9	16,9
Manitoba 1	18,7	4,3	6,8	11,5	5,5	7,3	0,4	0,3	1,0	0,4	0,3	0,3
Manitoba 2	20,4	12,5	6,9	22,0	15,6	19,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,3	0,9
Manitoba 3	9,1	9,3	14,0	13,9	13,5	11,7	0,7	1,4	0,0	0,4	0,8	1,8
Manitoba 4	8,6	12,4	8,0	15,8	5,2	10,1	0,0	0,3	0,3	0,0	1,0	2,2
Manitoba 5	10,7	1,3	3,9	9,0	2,0	11,3	4,0	4,2	8,5	6,0	7,8	3,3
Manitoba 6	27,5	9,5	7,7	19,7	39,9	15,1	0,6	0,6	0,0	0,0	1,3	1,3
Manitoba 7	10,2	7,7	5,5	5,3	8,2	8,5	4,5	2,8	6,1	5,5	4,4	10,5
Manitoba 8	37,4	28,7	20,6	26,2	22,8	10,6	0,0	0,5	1,0	1,1	0,0	0,0
Saskatchewan 1	3,6	10,5	8,5	3,6	1,0	8,9	4,7	2,2	5,6	7,5	8,3	4,3
Saskatchewan 2	11,3	10,1	10,8	14,4	11,8	16,5	0,5	0,3	0,8	1,5	0,0	0,0
Saskatchewan 3	8,3	5,4	26,2	6,6	2,1	10,6	7,2	2,7	2,6	4,8	5,7	2,6
Saskatchewan 4	9,2	7,4	9,7	5,8	6,4	15,2	4,5	2,5	10,4	11,8	5,1	6,3
Saskatchewan 5	2,9	4,0	8,0	16,6	3,8	5,9	0,0	3,0	2,1	0,6	3,7	2,2
Alberta 1	31,3	37,7	24,2	38,0	32,9	34,7	1,3	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0
Alberta 2	6,9	1,7	5,2	0,8	0,0	11,0	1,8	7,0	3,3	2,9	0,8	0,0
Alberta 3	11,2	2,7	3,2	2,8	4,3	3,3	3,3	1,2	2,1	2,4	1,6	2,6

* Les facteurs de conversion aux mesures du système impérial sont présentés à l'annexe V.

Annexe V. Unités et rapports métriques et leurs équivalents dans le système impérial

1 cm	0,39370 pouce
1 m	3,28084 pieds
1 m^2	10,7639 pieds carrés
1 ha	2,47105 acres
1 m^3	35,3147 pieds cubes
	10,353147 cunits
1 kg	2,20462 livres
1 m^2/ha	4,35600 pieds carrés à l'acre
1 m^3/ha	14,2913 pieds cubes à l'acre
1 kg/ha	0,892179 livre à l'acre